

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

**SMĚŠOVAČ FILAMENTU S PROMĚNNÝM PODÍLEM
VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ PRO FDM 3D TISKÁRNY**

FILAMENT MIXER WITH VARIABLE CONTRIBUTION OF INPUT MATERIALS FOR FDM 3D PRINTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Hráček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Robert Bayer

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Michal Hráček

ID: 203233

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Směšovač filamentu s proměnným podílem vstupních materiálů pro FDM 3D tiskárny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku FDM 3D tisku se zaměřením na vlastnosti používaných filamentů a princip funkce extruderu a navrhnete zařízení pro variabilní směšování dvou filamentů v libovolném poměru v průběhu tisku nezávisle na původním kódu k tisku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Robert Bayer

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářské práce se zabývá teorií ohledně 3D tisku a 3D tiskáren a možností směšování dvou filamentů. Práce je zaměřena zejména na extruder, který je jednou z hlavních částí 3D tiskárny, ale také na uchycení a chlazení tiskové hlavy. V extruderu probíhá posuv filamentu a jeho následné tavení. Dále je v práci zmíněna problematika řízení krokových motorů, jsou zde popsány použité komponenty pro praktickou část práce a realizace celého zařízení od návrhu DPS, přes psaní FW, až po návrh mechanických dílů.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, směšovač filamentu, filament, tiskárna, extruder, krokový motor, řízení krokového motoru

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the theory of 3D printing and 3D printers and the possibility of mixing two filaments. The work is focused especially on extruder, which is one of the main parts of 3D printer, but also on mounting and cooling the print head. In the extruder, the filament is fed and subsequently melted. Furthermore, the work mentions the problems of stepper motors, describes the used components for the practical part of the work and implementation of the entire device from PCB design, writing FW, to design mechanical parts.

KEYWORDS

3D print, filament mixer, filament, printer, extruder, stepper motor, control of stepper motor

HRÁČEK, Michal. Směšovač filamentu s proměnným podílem vstupních materiálů pro FDM 3D tiskárny. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127041>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Robert Bayer.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: Michal Hráček
VUT ID studenta: 203233
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2019/20
Téma závěrečné práce: Směšovač filamentu s proměnným podílem vstupních materiálů pro FDM 3D tiskárny

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 8. června 2020

.....
Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Robertu Bayerovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	1
1 FDM/FFF tisk	2
2 Filamenty	3
2.1 Druhy filamentů	4
2.1.1 ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)	4
2.1.2 PLA (Polylactic Acid)	4
2.1.3 PET/PET-G (Polyetylen tereftalát/polyetylén tereftalát-glykol)	5
3 Extruder	6
3.1 Cold end část.....	7
3.1.1 Krokový motor.....	7
3.1.2 Hobbed Gear	7
3.1.3 Idler Gear	8
3.2 Hot end část	9
3.2.1 Topné těleso	9
3.2.2 Senzor teploty	9
3.2.3 Tepelný blok	10
3.2.4 Chlazení	12
3.2.5 Tryska	13
3.3 Zavádění filamentu do tiskové hlavy.....	13
3.3.1 Direct extruder	13
3.3.2 Bowden Extruder	13
4 Řešení směšování filamentu	14
4.1 Mechanické směšování	14
4.2 Elektronické směšování	15
5 Drivery pro krokové motory	15
5.1 Mikrokroky	15
5.2 H-můstek.....	16
5.3 Nejpoužívanější modely driverů pro krokové motory	17
5.3.1 A4988.....	17

5.3.2	DRV8825	18
5.3.3	STSPIN820	18
5.3.4	TMC2208.....	18
6	Použité komponenty	18
6.1	ATmega328p	19
6.2	Hot End J-HEAD CR8/CR10, DUAL MIX (Cyclop)	19
6.3	XCR3D 2IN1-S1 Hotend J-head 12V/24V	19
6.4	Driver TMC2208	20
6.5	Ventilátor	20
6.6	Snímač teploty BMP280.....	21
6.7	Krokový motor 17HS4401.....	21
6.8	SSH1106 128x64 OLED Display	22
6.9	Rotační enkodér	23
7	Návrh zařízení	23
7.1	Schéma zapojení	23
7.1.1	Funkce autoselectoru	24
7.2	Návrh DPS	25
7.2.1	Hlavní DPS pro směřování	25
7.2.2	DPS pro uživatelské vstupy a výstupy.....	26
7.2.3	DPS pro výstupy z 3D tiskárny.....	27
7.2.4	Získání 3D modelů.....	28
7.3	Spotřeba zařízení.....	28
7.4	Použité součástky	29
7.4.1	TPS5410D.....	29
8	Uchycení tiskové hlavy	31
8.1	Hliníkový profil, distanční deska.....	31
8.2	Podložka pro tiskovou hlavu.....	31
8.3	Chlazení hlavy	32
9	Návrh krabičky	34
9.1	Hlavní část skříňky krabičky	34
9.2	Vrchní díl skříňky	35
10	Firmware	36

10.1	Využití paměti RAM a FLASH pro ATmega328p:.....	36
10.2	Funkce firmwaru.....	36
10.3	Získávání pulzů z 3D tiskárny	37
10.3.1	Přerušení ve FW.....	37
10.4	Časovače	38
10.5	Nastavování poměrů pro směřování	39
10.6	Spínání ventilátoru.....	41
11	Uživatelské rozhraní	41
11.1	Hlavní zobrazení	42
11.2	Menu	42
11.2.1	Ventilátor	42
11.2.2	Motory	42
11.2.3	Spínací teplota.....	42
11.2.4	Firmware verze	43
12	Směřování	43
12.1	Směřování s hlavou XCR 3D	44
12.2	Směřování s hlavou J-HEAD CR8/CR10.....	46
13	Zkompletování zařízení	48
14	Rozpočet	51
15	Závěr	53
	LITERATURA	56
	Seznam obrázků	59
	Seznam tabulek	60
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	61
	SEZNAM PŘÍLOH	62
A	Blokové schéma směšovacího zařízení	62
B	Elektrické blokové schéma směšovacího zařízení	63
C	Blokové Schéma menu	64
D	Schéma zapojení dps pro směšování 1/2	65

E	Schéma zapojení dps pro směřování 2/2	67
F	Schéma zapojení dps pro vstupy a výstupy	69
G	Schéma zapojení pro výstupy z 3D tiskárny	71
H	DPS zapojení pro směřování (TOP, měřítko 2:1)	72
I	DPS zapojení pro směřování (BOTTOM, měřítko 2:1)	73
J	DPS zapojení pro vstupy a výstupy (TOP, měřítko 2:1)	74
K	DPS zapojení pro vstupy a výstupy (BOTTOM, měřítko 2:1)	75
L	DPS zapojení pro výstupy z 3D tiskárny(TOP, měřítko 2:1)	76
M	DPS zapojení pro výstupy z 3D tiskárny (BOTTOM, měřítko 2:1)	76
N	Technický výkres pro podložku 3D tiskové hlavy	77
O	Technický výkres chlazení 3D tiskové hlavy	79
P	Technický výkres krabičky	81
Q	Technický výkres krytu na enkodér	83
R	Technický výkres horního dílu pro krabičku	84
S	Rozpiska součástek pro směšovací DPS 1/2	86
T	Rozpiska součástek pro směšovací DPS 2/2	87
U	Rozpiska součástek pro DPS s uživatelskými vstupy/výstupy	88
V	Rozpiska součástek pro DPS výstupu z 3D tiskárny	88

ÚVOD

Rozvojem 3D tisku a zlepšováním cenové dostupnosti 3D tiskáren pro běžné uživatele a nadšence, se z této problematiky v posledních letech stává stále populárnější téma. S tímto jde v ruku i fakt, že uživatelé mají stále větší nároky a chtějí, aby jejich 3D tiskárna měla více funkcí a nejlépe i to, aby si tyto funkce mohli vytvořit doma pomocí dostupných informací, komponent a vlastních znalostí.

Praktické využití 3D tisku se kromě průmyslového použití, například při tvorbě modelů, stává velmi rozšířenou také v domácím prostředí. Je tomu i díky velké komunitě uživatelů, která sdílí své zkušenosti a poznatky ohledně technologie 3D tisku, ale také jsou sdíleny podklady pro vlastní produkty vytvořené pomocí 3D tisku. Před pěti lety by bylo v domácím prostředí nemyslitelné vyrobit jednoduché mechanické díly do různých zařízení, úchyty, krabičky nebo také designové prvky do domácností.

S tímto souvisí i to, že většina tiskáren podporuje pouze tisk jedné barvy, případně barev více, ale každé zvlášť. Vícebarevný tisk se provádí tak, že je potřeba tisk pozastavit, filament vyměnit nebo přepnout na jinou tiskovou hlavu. Ovšem náročnějšímu uživateli tyto možnosti nemusí stačit. Na trhu je sice spousta různobarevných filamentů, ovšem jejich barevné spektrum je velice omezené. Nenalezneme zde různé odstíny např. červené nebo modré. Z tohoto problému vyplývá řešení míchání dvou či více filamentů. Existují sice tiskárny, které směšování filamentů podporují, jsou ale cenově dražší, není jich mnoho, a ne každý uživatel, který má doma jednu nebo více tiskáren chce investovat do další dražší tiskárny.

Tímto problémem se právě tato práce zabývá. Práce má za úkol vytvořit směšovač filamentu, jenž bude cenově dostupný a s jistými úpravami aplikovatelný na jakoukoliv jednobarevnou 3D tiskárnu, bez nutnosti výměny filamentu a s možností v průběhu tisku měnit poměr barevného složení, které uživatel zvolí.

V následujících kapitolách jsou jednak vysvětleny pojmy FDM a FFF, princip aditivních 3D tiskáren a funkce extruderu. Dále jsou vyjmenovány nejpoužívanější druhy filamentů a popsána část, která je pro směšování nejpodstatnější.

Také je zde vysvětleno ovládání krokových motorů a nejběžnější drivery pro krokové motory, které jsou dostupné na trhu.

V praktické části práce je uvedena problematika návrhu DPS, chlazení tiskové hlavy nebo návrh úložné krabičky. Je zde i porovnání dvou typů tiskových hlav, které podporují vstup více filamentů a jejich výhody a nevýhody. Čtenář má v této práci také možnost nahlédnout do části zdrojového kódu a jeho popisu. Na samotném konci bakalářské práce se nachází celkový rozpočet a fotky zkompletovaného zařízení.

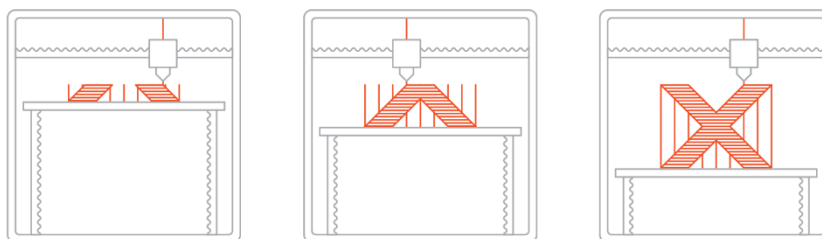
V přílohách čtenář nalezne veškeré technické výkresy, schémata, návrhy DPS nebo rozpisku součástek.

1 FDM/FFF TISK

FDM/FFF (Fused Deposition Modeling/ Fused Filament Fabrication) je metoda 3D tisku, kdy se po tenkých vrstvách nanáší roztavený materiál (nejčastěji plast), který následně tuhne. Tento materiál se nanáší ve dvou osách (nejčastěji značené jako X a Y). Poté co je nanesena jedna vrstva materiálu, posune se třetí osa Z směrem nahoru nebo dolů (záleží na konstrukci tiskárny) právě o tloušťku jedné vrstvy [1].

Výchozím materiál je takzvaný filament, který se dodává ve formě strun na cívkách nejčastěji v tloušťkách 1,75mm. V menším zastoupení na trhu je poté tloušťka 3,0mm [2]. Kromě filamentu, který se používá k tisknutí přímo modelu, může být ještě přítomen i filament, který je čistě pro tisknutí podpůrné konstrukce.

Jediný rozdíl mezi názvy FDM a FFF, je ten, že FDM je registrovanou ochrannou značkou firmy Stratasys a ostatní výrobci ji tedy nemohou užívat [3], z tohoto důvodu vznikl název FFF.



Obr. č. 1: Proces 3D tisku u FDM/FFF tiskáren [4]

Cena 3D tiskáren se pohybuje v relativně velkém rozmezí. Na Čínských e-shopech se tyto 3D tiskárny dají pořídit i za pouhých 81\$ (v přepočtu cca 1900Kč). Na druhé straně jsou zde tiskárny např. české firmy Prusa Research, kde je pořizovací cena tiskárny i 27 000Kč. V těchto cenových relacích se pohybují tiskárny pro domácí užití.

Pokud se budeme zabývat cenou průmyslových 3D tiskáren na principu FDM/FFF tisku, můžeme se dostat na částky převyšující několik desítek tisíc amerických dolarů.

Rozdíl mezi levnými a drahými domácími 3D tiskárnami můžeme nalézt nejenom ve kvalitě zpracování a následného tisku, ale i v softwarové podpoře, kdy u Čínských tiskáren můžeme strávit několik hodin na fórech a řešit s ostatními uživateli, proč tiskárna nefunguje tak, jak výrobce deklaroval. Vždy je zde samozřejmě možnost si sestavit vlastní 3D tiskárnu z vlastních dílů a nakoupených komponent, včetně firmwaru pro tisk.



Obr. č. 2: 3D tiskárna firmy Prusa Research [5]

2 FILAMENTY

FFF tisk by se neobešel bez filamentu. Jak bylo napsáno výše, jedná se o strunu, která je vyrobena z vhodného termoplastu. Termoplastem se rozumí materiál, který působením tepla měkne a ochlazením opět tuhne. Oproti reaktoplastům jsou tyto změny vratné. Teoreticky je možné jeden filament používat stále dokola. Mezi termoplasty se řadí například Nylon, Polyamidová vlákna (PA), Akrylonitrilbutadienstyren (ABS) nebo známější Polyvinylchlorid (PVC).

Tento filament musí mít přesně daný průměr. Nejčastěji se jedná o průměr 1,75mm, dále pak 2,85mm; 2,90mm a 3,0mm. Tolerance těchto průměrů je $\pm 0,05\text{mm}$. Ve většině případů se filamentová struna prodává o hmotnosti 1kg, kdy pak společně s cívkou má celkovou hmotnost 1,2kg. 1kg struny má délku okolo 330m [6].

2.1 Druhy filamentů

V dnešní době můžeme nalézt již spoustu druhů filamentů od různých výrobců. Každý filament má svoje výhody a nevýhody pro použití v daném prostředí, různé vlastnosti a technické parametry. Ať už se jedná o teplotu tavení, odolnost materiálu vzhledem k teplotě, vodě, pevnosti v tahu nebo cenu.

2.1.1 ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)

Patří společně s PLA (2.1.2) mezi nejpoužívanější filamenty při 3D tisku. Používá se nejen pro domácí užití, ale i v automobilovém průmyslu. Hlavně díky jeho tvrdosti a odolnosti vůči zlomení nebo deformaci a odolnosti vůči vyšším teplotám. Je vyráběn z ropných produktů, proto není bezpečné jej používat v potravinářském průmyslu. Díky malým nákladům a dobrým mechanickým vlastnostem je hojně používán. Je používán spíše pro pokročilejší 3D tiskárny a zkušenějšími uživateli. Tisk doprovází tvorba výparů [9].

Teplota zpracování se pohybuje nejčastěji okolo 230°C a je potřeba použít vyhřívanou podložku, kde se teplota pohybuje nejčastěji v rozmezí 80-110°C [7]. Vyznačuje se odolností vůči mechanickému, poškození, kyselinám a teplotám do 100°C [8].

Tento materiál lze dobře lepit. Lze jej také dobře opracovávat broušením nebo vyhlazováním acetonovými výpary. ABS se často používá na výrobky, jako jsou např.: mixéry, elektronická zařízení, automobily. Cena struny je 0,5Kč/g [8].

2.1.2 PLA (Polylactic Acid)

Jak již bylo řečeno, jedná se o jeden z nejpoužívanějších filamentů do FDM/FFF tiskáren, a to hlavně díky dobré tisknutelnosti, vyšší pevnosti materiálu než u ABS a možnosti absence vyhřívané podložky [8]. Nicméně je doporučena teplota podložky okolo 50-60°C z důvodu lepší přilnavosti k podložce při tisku. Polylactict Acid, neboli kyselina mléčná, je vyráběna z dextrózy, což jsou cukry extrahované z biologických materiálů, jako je např. cukrová třtina nebo kukuřičný škrob [7], s tím, že má stejné vlastnosti jako plasty vyráběné z ropy. Tímto je šetrnější k přírodě [8]. Tento materiál se používá pro tisknutí velkých objektů, právě díky jeho pevnosti [7]. Při opracovávání pomocí acetonu, však na rozdíl od ABS, má tendenci se naleptávat.

Teplota zpracování se pohybuje kolem 180-220°C. Tento materiál měkne již při 50-60°C [8]. Proto není vhodný na výrobky do prostor s vyšší teplotou, jako je např. interiér auta v letních měsících. Opracování tohoto materiálu je obtížnější než u ABS. I když je PLA materiál pevný, je zároveň poměrně křehký. Tomuto nenapomáhá ani nízká teplota měknutí. Avšak je možné ho vrtat, brousit nebo lakovat. PLA materiály je třeba skladovat v obalech a v suchu [7]. Cena struny je 0,5Kč/kg [8].



Obr. č. 3: Srovnání výrobku z PLA a ABS materiálu [10]

Materiál PLA je vyráběn i v různých modifikacích, kdy se k základnímu materiálu přidává například bronz, dřevo (Bronze/Wood Fill) nebo hliník. Tyto materiály jsou přidávány většinou z důvodu lepšího vzhledu. Nevýhodou je pomalejší tisk, velký rozsah teploty zpracování (170-260°C) a dvojnásobná cena oproti čistému PLA (1Kč/g) [8];[11]. Nalézt můžeme i PLA filamenty s příměsí piva nebo kávy, kdy se pro jejich výrobu používají vedlejší produkty, které vznikají při výrobě těchto nápojů. Vyznačují se právě vůní piva nebo kávy, když probíhá tisk výrobku [11].



Obr. č. 4: Výrobek z PLA filamentu, kde jako příměs posloužil vedlejší produkt při vaření piva [12]

2.1.3 PET/PET-G (Polyetylen tereftalát/polyetylén tereftalát-glykol)

PET se vyznačuje nízkou navlhavostí, nemačkovostí, oproti předchozím materiálům je pružnější a mechanicky odolnější [8]. Zajímavostí je, že výchozí materiál může být bezbarvý a čirý. Tato průhlednost se během procesu zahřívání a ochlazování mění [13].

Rozdíl mezi materiály PET a PET-G je v tom, že PET-G je díky přítomnosti glykolu (přídomek „G“ v názvu) více pružnější, s vyšší odolností vůči nárazu, ale s větší absorpcí

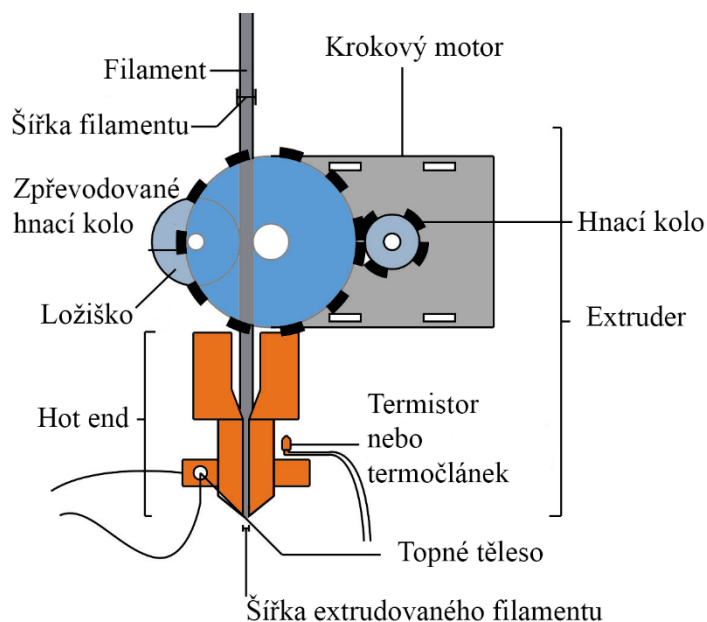
vlhkosti [14]. PET filament je zdravotně nezávadný, dá se tedy použít i pro styk s jídlem. U PET-G filamentu, kvůli přítomnosti glykolu není použití v gastronomii doporučováno. Další výhodou je, že se během tisku nevytváří výpary ani zápach. Výhodou materiálu PET-G je jeho vysoká pružnost.

Teplota zpracování se pohybuje v rozmezí 160-260°C. Velký rozsah teplot pro zpracování má za příčinu to, že odladění procesu může trvat i několik tisků, než se podaří nastavit správná teplota [13]. To je způsobeno nejen tím, že výrobci tají z velké části složení PET filamentů, ale i proto, že pod názvem PET se prodávají filamenty, které nejsou čisté PET, ale obsahují kopolymery (polymery, které mají makromolekuly z minimálně dvou druhů monomerů). Teplotní odolnost je pak od 70 do 80°C. Cena filamentu je 0,8Kč/g [8].

3 EXTRUDER

Extruder (Tisková hlava) je jeden z nejdůležitějších komponent 3D tiskárny. Je to místo, kde dochází k tavení filamentu, který je následně vytlačován v tenkých vrstvách. Tloušťku vrstvy může uživatel definovat pomocí trysky; angl. nozzle.

Extruder se skládá ze dvou hlavních částí. A to z hot endu (horký konec) a z cold endu (studený konec). Ve studeném konci jsou umístěny krokové motory, které posouvají filament do hot end části, kde se filament taví a posouvá do trysky [16].



Obr. č. 5: Schéma extruderu [17]

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé části extruderu.

3.1 Cold end část

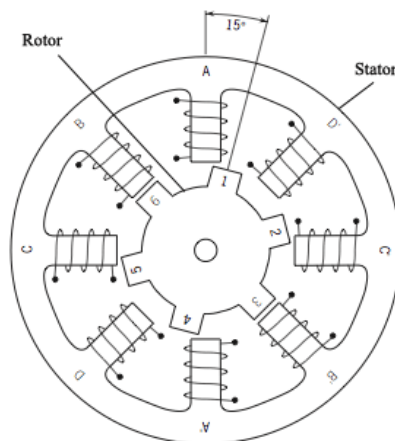
V této části se nachází krokové motory, Hobbed gear (hnací kolo) a Idler Gear.

3.1.1 Krokový motor

Tento typ motorů, na rozdíl od klasických DC motorů, které se otáčejí nepřetržitě, se otáčí po krocích. To má výhodu v přesné kontrole nad pozicí motoru [16].

Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc. popisuje ve skriptu Elektrické stroje v kapitole 1.9.2.2.(Krokové motory) z roku 2016, na s. 92 následovně:

„Jedná se o synchronní motor, pracující synchronně se vstupními impulsy. Jestliže na vstup přijde jeden impuls, rotor se pootočí o určitý úhel (krok) a zastaví se. Až do příchodu dalšího impulsu je poloha rotoru stabilní a neměnná. Přicházejí-li vstupní impulsy postupně, opakuje se s každým impulsem krokové pootočení a zastavení, takže rotor "krokuje" synchronně s impulsy. Celkový úhel natočení hřídele a rychlost otáčení jsou úměrné frekvenci vstupních impulsů. Při malé frekvenci vstupních impulsů je chod motoru trhavý, rotor "krokuje" v rytmu řídicích impulsů. Od určité frekvence je chod motoru prakticky plynulý. Při dosažení maximální pracovní frekvence impulsů je motor na hranici synchronizmu a při dalším zvýšení frekvence se zastaví“ [18].



Obr. č. 6: Krokový motor [19]

3.1.2 Hobbed Gear

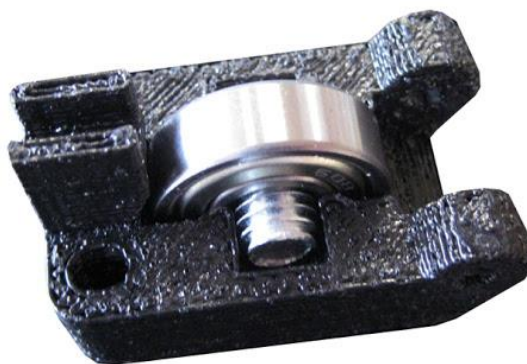
Hobbed Gear (česky hnací kolo) je ozubené kolo, které zajišťuje posuv filamentu do hot endu. Na jeho povrchu je ozubení (drážkování), které se jemně zarývá do filamentu a tím filament posouvá [20].



Obr. č. 7: Různé typy hnacích kol (Hobbed Gear) [21]

3.1.3 Idler Gear

Idler gear, většinou řešen jako kolo, s hladkým povrchem, případně s jednou drážkou kolem obvodu kola, s průměrem odpovídajícím průměru filamentu. Je namontováno na pákovém mechanismu, s osou v poloze proti hnacímu kolu. Páka je tlačena předepnutou pružinou, aby idler gear přitlačel filament na hnací kolo. Rychlost krokového motoru ve vazbě na rychlosti posuvů v jednotlivých osách a správný přítlak má vliv na kvalitu tisku [20].



Obr. č. 8: Idler Gear [16]

3.2 Hot end část

V této části extruderu dochází k roztavení a následnému vytlačení filamentu ven z tiskové hlavy. Obsahuje zdroj tepla, senzor teploty (termistor nebo termočlánek), chlazení a trysku.

3.2.1 Topné těleso

Topné těleso (také topná patrona; angl. Heater Cartridge), je nejčastěji vyráběné z keramiky, má za úkol zahřívat filament do stavu, ve kterém pak vychází tryskou ven. Jedná se o odpor s vysokým výkonem, který pracuje s Jouleovým teplem [16]. Jeho výhodou jsou malé rozměry, které dokáží produkovat poměrně vysoký výkon (ideálně $50\text{W}/\text{cm}^2$). Rozměry činné části topné patrony jsou např. u tiskárny Prusa Research MK3 $6 \times 20\text{mm}$. Nejčastější napájení je 12V a 24V.



Obr. č. 9: Topné těleso [16]

3.2.2 Senzor teploty

Senzorem teploty hot endu je buď termočlánek nebo termistor (angl. Thermocouple/ Thermistor). Termočlánek funguje na principu termoelektrického jevu, kdy dva spojené, rozdílné kovy při zahřívání vytváří gradient teplot a ten společně se Seebeckovým koeficientem vytváří napětí.

Termistor je pak teplotně závislý odpor, který vlivem tepla mění svůj odpor, kde hodnota odporu odpovídá dané teplotě. Termistor je používanější z důvodu jednoduchosti a nižší ceny, zatímco termočlánek je používán u vyšších teplot [16].



Obr. č. 10: Termočlánek typu K800C M6
[22]

3.2.3 Tepelný blok

Výše zmíněné části (kapitola 3.2.1 a 3.2.2) se montují do tepelného bloku (angl. Heater block). Jedná se o odolné bloky, nejčastěji z různých slitin, a to z důvodu, že samotné železo je měkké a křehké. Nejčastěji se jedná o slitiny hliníku, díky dobré tepelné vodivosti, malé hmotnosti a mechanické pevnosti.



Obr. č. 11: Tepelný blok [20]

Tyto bloky musí být odolné nejen vůči teplu, ale i tlaku filamentu nebo pnutí trysky. Nejčastějším materiálem je hliníková slitina 6061-T6 (T6 značí umělé stárnutí). Vyniká svojí lehkostí, tepelnou odolností až do 582°C, nízkou hustotou, nízkými náklady na obrábění a dobrou tepelnou vodivostí (151-201W/m*K) [23]. Pevnost v tahu činí 290N/mm².

Tab. č. 1: Poměry složení hliníkové slitiny 6061 T6

Al [%]	Cr [%]	Mg [%]	Si [%]	Cu [%]
95,8-98,6	0,04-0,35	0,8-1,2	0,4-0,8	0,15-0,4

Největším problémem těchto hliníkových slitin je, že při zahřívání slitiny, kdy okolní teplota je pokojová, dochází ke snížení pevnosti v tahu, a to až na 76N/mm^2 . Při vysokých teplotách dochází k dosažení tzv. mezi kluzu, kdy se těleso začne výrazně prodlužovat, aniž by docházelo ke zvyšování působící síly na těleso. Dále se používají slitiny hliníku 2024-T4 a 7075-T6 [23]. Při nadměrném zahřátí může dojít ke zničení tepelného bloku.



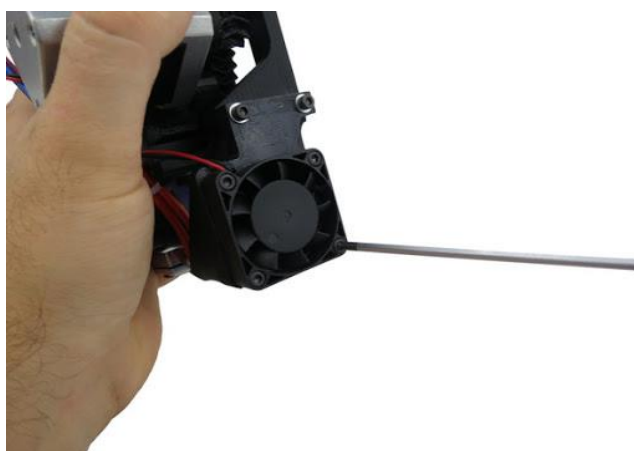
Obr. č. 12: Porovnání pevnosti tahu vůči teplotě u slitin hliníku [23]



Obr. č. 13: Poškozené tepelné bloky [23]

3.2.4 Chlazení

Chlazení pomocí větráčku, s napájecím napětím nejčastěji 12V DC, slouží k ochlazení filamentu poté, co opouští trysku, aby nedošlo k deformaci tisknutého objektu v důsledku tečení filamentu. Je ovládán firmwarem a vypínám nebo zapínám v závislosti na materiálu, který se tiskne [16]. Často je zaměňován nebo spojován s chladičem (angl. Heat sink), který chladí tzv. tepelný blok (angl. Heater block), což je samozřejmě špatně. Chladič je pasivní součástka, která odvádí teplo z extruderu, aby nedošlo k jeho přehřátí.



Obr. č. 14: Ventilátor pro ochlazování filamentu [16]

3.2.5 Tryska

Tryska je místo, kde roztavený filament opouští extruder a nanáší se po vrstvách na tisknutý objekt. Tryska je vyměnitelná a velikost průchozího otvoru ovlivňuje kvalitu tisku. Většina 3D tiskáren je dodávána s tryskou o průměru 0,4 mm [20].

Dokoupit a vyměnit je možno trysky s průměry 0,2 - 0,6 mm, dále pak 0,8 mm a 1,0 mm. Průměr opačného otvoru (vstup filamentu) pak bývá standardně 1,75mm nebo 3,0 mm.



Obr. č. 15: Trysky s různými průměry [25]

3.3 Zavádění filamentu do tiskové hlavy

Existují dva způsoby, jak přivádět filament do hot endu, a to direct nebo bowden.

3.3.1 Direct extruder

V tomto případě je cold end část přímo spojena s hot end částí. Tzn., že krokový motor s ozubenými koly pro posun filamentu je přímo nad tiskovou hlavou. Výhoda spočívá v přesném nanášení filamentu s minimálním prokluzem, nevýhoda pak v těžší tiskové hlavě [26].

3.3.2 Bowden Extruder

Tento typ má cold end část umístěnou na konstrukci tiskárny a tisková hlava tak nemusí nést váhu poměrně těžkého krokového motoru. Umožňuje tak tiskové hlavě dosáhnout vyšší rychlosti a menší energie potřebné k zrychlení nebo zpomalení. Nevýhoda spočívá v délce teflonové trubičky mezi cold a hot end částí. Čím delší tato trubička je, tím spíše dojde k chybě tisku [26].

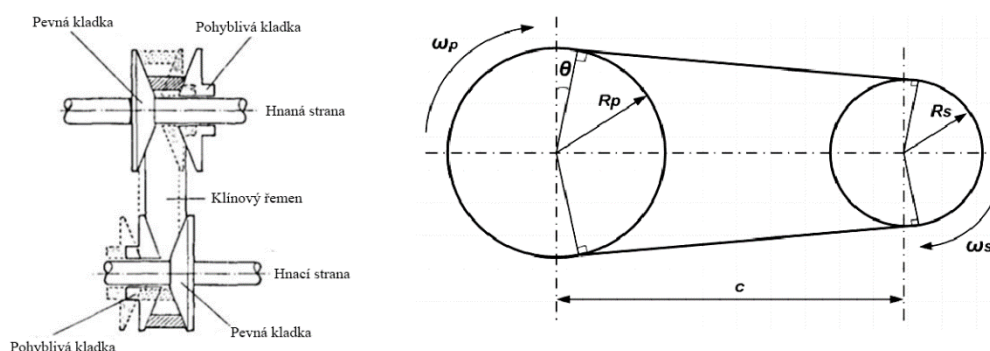
4 ŘEŠENÍ SMĚŠOVÁNÍ FILAMENTU

Směšování filamentu může probíhat dvěma způsoby. Směšování mechanickým řízením nebo elektronicky řízeným. V následujícím textu budou popsány oba způsoby, jejich možná realizace, výhody a nevýhody.

4.1 Mechanické směšování

U tohoto směšovače hraje hlavní roli variátorová převodovka, která se skládá ze dvou dvojic kuželů (hnaná a hnací strana) a řemene, kde pomocí jednoho krokového motoru můžeme ovládat posun obou filamentů. Jejich poměr se volí na základě pozice řemene a záleží, jestli se řemen nachází na vnější či vnitřní straně kužele.

Jeden kužel, z každé dvojice, je vždy pohyblivý a druhý statický. Díky těmto pohyblivým kuželům, které jsou úhlopříčně naproti sobě, můžeme nastavovat pozici řemene a regulovat tak otáčky hnané hřídele, která je upevněna na hnané kolo extruderu v cold end části.



Obr. č. 16: Náčrt variátorové převodovky [27]

Výhoda tohoto řešení spočívá hlavně v použití pouze jednoho krokového motoru. Ovšem nevýhod je zde nespočet. Nevýhoda spočívá v méně přesném nastavování poměrů mezi filamenti, kdy je čistě na zručnosti a zkušenosti obsluhy, aby daný poměr nastavila. Dalším problémem je tření mezi řemenem a kužely. Tření, pokud by bylo příliš malé, by mohlo způsobovat prokluzu řemene a tím pádem by došlo k neotočení kuželů a nedodání filamentu do hot end části. Značnou nevýhodou je pak složité odpojení jednoho z variátorů, pokud bychom chtěli tisknout pouze jedním filamentem.

4.2 Elektronické směřování

Na rozdíl od mechanického směřování si zde uživatel volí přesně poměr, který požaduje a elektronika se už postará o zbytek. V praxi to znamená, že zařízení obsahuje dva krokové motory, jeden pro každý filament, což zvyšuje hlavně cenu. Ovšem za to odpadají problémy prokluzu řemenu, jeho napnutí atd.

Pomocí elektroniky je možno přímo vypínat nebo zapínat jednotlivé motory, čímž se nám zvyšují možnosti použití. Největší výhodou je jednoduché vypnutí jednoho z motorů, aby nedocházelo ke směřování filamentu. K řízení nám může posloužit MCU a drivery pro krokové motory.

V příloze A (Blokové schéma směšovacího zařízení) je blokově vyobrazen návrh elektronického směřování.

5 DRIVERY PRO KROKOVÉ MOTORY

Důležitým komponentem je driver, který umožňuje nejen poměrně jednoduše obsluhovat krokový motor pomocí programu, ale dokáže také elektronicky zmenšit minimální krok motoru, tzv. mikrokroky (angl. microsteps).

Nejdůležitějšími parametry těchto driverů je minimální a maximální napájecí napětí, maximální dlouhodobý proud na jednu fázi motoru, maximální krátkodobý špičkový proud (angl. peak) na jednu fázi, maximální rozdělení minimálního úhlu na mikrokroky a samozřejmě cena.

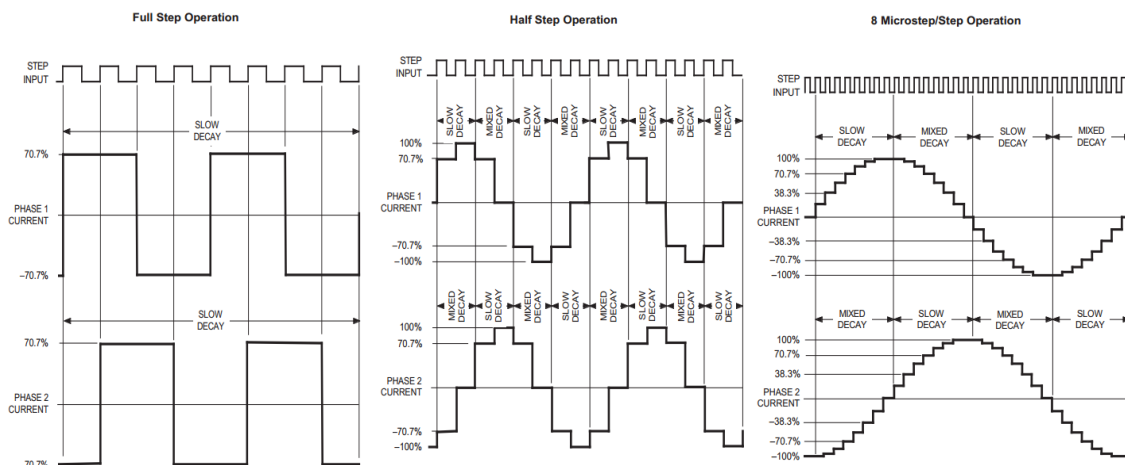
U každého driveru je možnost nastavit omezení proudu pro motor, které je dáno napěťovou referencí (jedná se o daný pin na pouzdře) podělenou konstantou, kterou stanovuje výrobce a odporem, díky němuž je umožněno nepřímo měřit proud.

5.1 Mikrokroky

Krokové motory mají nejčastěji úhel jednoho kroku $1,8^\circ$. Z toho vyplývá, že pro otočení kolem své osy musí motor vykonat 200 kroků. Vzorec pro přepočet je uveden níže.

$$\text{Počet kroků} = \frac{360^\circ}{\text{Úhel kroku } [^\circ]} [-] \quad (6.1)$$

Někdy, při jemnějších pohybech, nemusí minimální úhel kroku motoru vystačit. Na řadu tak přicházejí dvě možnosti. Převodovka nebo mikrokroky. Mikrokroky tedy znamenají, že můžeme přesně definovat i větší množství kroků než 200 (při základním úhlu kroku motoru $1,8^\circ$) a docílit tak jemnějšího pohybu. Díky tomu se tak pohyb začíná přibližovat k sinusovému průběhu. Čím více máme mikrokroků, tím je tato podobnost větší [28].



Obr. č. 17: Mikrokroky v hodnotách zleva 1/1, 1/2 a 1/8 [28]

Různé drivery mají rozdílný počet mikrokroků, kterých můžou docílit. Levné drivery např. A4988 od firmy Allegro mají maximální počet mikrokroků 16. Ovšem dražší drivery např. TMC2208 od firmy Trinamic mohou dosáhnout až 256 mikrokroků. Úhel jednoho pootočení mohou tak zjemnit až na $0,007^\circ$ (při základním úhlu kroku motoru $1,8^\circ$).

Vzorec pro výpočet nejmenšího elektronického kroku:

$$\text{Úhel} = \frac{\text{Úhel kroku } [^\circ]}{\text{Počet mikrokroků}[-]} [^\circ] \quad (6.2)$$

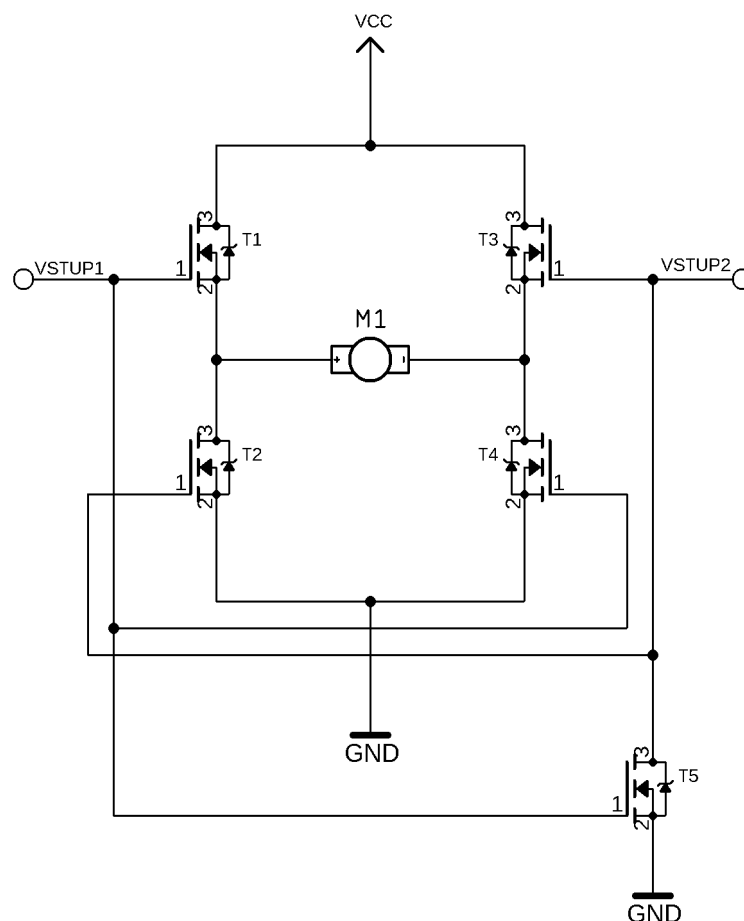
5.2 H-můstek

H-můstek (angl. H bridge) je elektronický obvod, skládající se z tranzistorů, kterým se dají spínat bipolární krokové a DC motory. Můstky se skládají nejčastěji ze čtyř výkonových MOS tranzistorů s N kanálem. Sepnuty jsou vždy dva tranzistory, které jsou úhlopříčně proti sobě. V drivech nebo IO bývají většinou dva H-můstky a je tedy možné pomocí jednoho driveru spínat dvofázové krokové motory.

Pokud přivedeme dostatečné napětí na gaty tranzistorů T1 a T4, tranzistory se otevrou a může přes ně téct proud, který proteče přes cívky motoru M1, kde se díky tomu vytvoří magnetické pole, které je opačné vůči rotoru motoru a motor se tak pootočí. Stejně tak tento princip funguje u tranzistorů T2 a T3, kdy se ale motor pootočí na opačnou stranu.

Pokud by se sepnuly všechny čtyři tranzistory zároveň, došlo by ke zkratování

napájecího zdroje. Proto, pokud máme H-můstek, který nebývá v IO, přidává se pátý tranzistor T5. Díky tomuto tranzistoru se při přivedení na oba vstupy tento tranzistor otevře a veškerý proud ze Vstupu2 tranzistor T5 stáhne na zem. Ovšem jak tato ochrana funguje u driverů, které jsou integrovanými obvody, zůstává firemním tajemstvím.



Obr. č. 18: H-můstek složený ze čtyř N kanálových MOS tranzistorů

5.3 Nejpoužívanější modely driverů pro krokové motory

5.3.1 A4988

Jedná se o jeden z nejběžnějších a nejpoužívanějších driverů od firmy Allegro. Dodávají se s většinou elektronických desek pro 3D tiskárny, a to díky nízké ceně. Na úkor ceny je možnost volit jen šestnácti taktní režim. Nevýhodou je značná hluchost, kdy při ovládání motorů tyto drivery nepříjemně pískají.

Napájecí napětí je standardní 3,3V nebo 5V. Na výstupu mohou mít napětí až 35V a dovolí proudový odběr až 2A. Dále mají ochranu proti zkratu, ochranu proti překročení proudu a proti přehřátí, nízký výstupní odpor (320mΩ – 430mΩ). Obsahují i vnitřní UVLO (Undervoltage-lockout), který dokáže vypnout zařízení při detekování podpětí. Je vyráběn v 28 kontaktním QFN pouzdře [30].

Samotné spínání napájení pro krokové motory je tvořeno dvojicí H-můstků, každý ze čtyř DMOS tranzistorů.

5.3.2 DRV8825

Tento driver od firmy Texas Instruments dokáže jeden krok zjemnit až na 32 mikrokroků. Dokáže pracovat při napájecím napětí od 2,2V do 5V. Maximální vstupní proud pro napájení je pak 100μA. Napájecí napětí pro motory je pak v rozsahu od 8,2V do 45V a odebíraný proud maximálně 2,5A při 24V a teplotě 28°C.

Obsahuje standardní ochrany, jako jsou např.: UVLO, ochranu proti nadproudu, tepelnou ochranu a navíc i tzv. Fault Conditions Indication, což je pin, který se nastaví na logickou nulu, pokud dojde k sepnutí jakékoliv ochrany driveru. Tento driver je vyráběn v 28 vývodových pouzdrech typů TSSOP a WQFN [31].

5.3.3 STSPIN820

Driver od firmy STMicroelectronics disponuje rozdělením základního kroku až na 256 úrovní, dokáže dodat proud až 1,5A na výstup k motoru. Výstupní odpor činí 1Ω. Napájecí napětí je do 5V, výstupní napětí pak od 7V do 45 V.

Tak jako předchozí drivery obsahuje ochrany proti přehřátí, nadproudu, zkratu a UVLO. Může být provozován v režimu nízké spotřeby. Je pouzdřen do 24 vývodového QFN pouzdra [32].

5.3.4 TMC2208

Driver TMC2208 umožňuje velice tichý chod díky technologii stealthChop2™ vyvinuté firmou Trinamic, ovšem za cenu vyšších teplot driveru. V UART módu nabízí až 256 mikrokroků. V klasickém módu (Standalone) je možno provozovat mikrokroky pouze do hodnoty 32. Pracuje na vstupním napětí od 3,3V do 5V. Výstupní napětí je pak od 4,75V do 36V s výstupním proudem do 2A. Výstupní odpor se pohybuje od 280mΩ do 290mΩ.

Tento driver lze díky UART komunikaci programovat a lze tak, vypínat/zapínat driver, kontrolovat teplotu driveru, automaticky nastavovat napěťovou referenci pro maximální proud nebo regulovat PWM pro tichý chod.

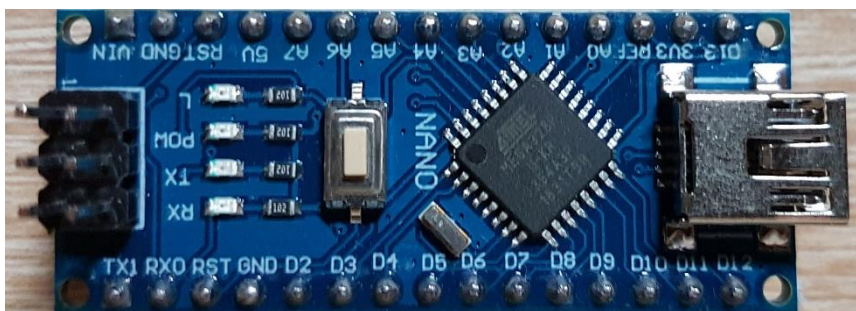
Je pouzdřen ve 28 nebo 32 vývodovém QFN pouzdře, dále může být pouzdřen v TQFP nebo v HTSSOP pouzdře.

6 POUŽITÉ KOMPONENTY

Jádrem tohoto zařízení je mikrokontrolér ATmega328p od společnosti Atmel, kterou v roce 2016 koupila společnost Microchip Technology. Dále byly zvoleny drivery pro krokové motory TMC2208 od společnosti Trinamic a krokové motory 17HS4401, OLED display s řadičem SSH1106, rozlišením 128x64 pixelů a s úhlopříčkou 1,3". Ovládacím prvkem pro listování v menu (např. pro volbu poměru filamentů) je rotační enkodér.

6.1 ATmega328p

8mi bitový mikrokontrolér je osazený na vývojovém kitu, je klonem Arduino Nano V3.0. Obsahuje převodník CH340G z USB na sériové rozhraní (UART, RS232). ATmega328p je napájena napětím do 5,5V, vývojová deska obsahuje externí oscilátor 16MHz a programování pomocí ISP rozhraní nebo MiniUSB. ATmega328p obsahuje dva 8mi bitové a jeden 16ti bitový čítač/časovač, 10ti bitový AD převodník s převodním časem od 13μs do 260μs, rozhraní SPI, Two – Wire Seriál Interface (jedná se o I2C, firma Atmel jej má pojmenované jako TWI, firma Philips jako I2C), UART, celkem 3 registry pro I/O (značených B až D) 32kB flash paměť 1024B EEPROM paměť a 2048B SRAM.



Obr. č. 19: Klon Arduino Nano V3.0

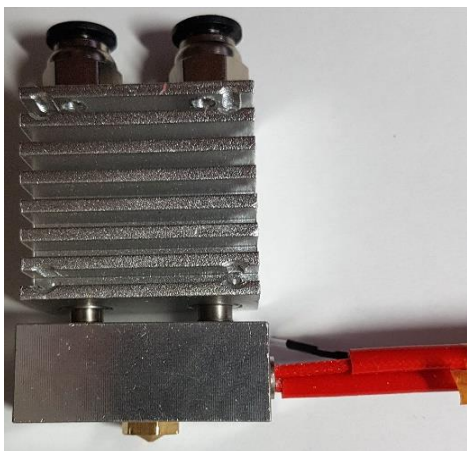
6.2 Hot End J-HEAD CR8/CR10, DUAL MIX (Cyclop)

K úpravě musí dojít také u tiskové hlavy. Původní tisková hlava musí být nahrazena tiskovou hlavou, která má možnost dvou vstupů pro filament, které se v tepelném bloku smíchají a následně z trysky vyjde roztavený a smíchaný filament.

Topné těleso je konstruováno na 24V s výkonem 40W, dále obsahuje 2 vstupy pro filament o průměru 1,75mm, které se míchají až v tepelném bloku a demontovatelnou trysku o průměru 0,4mm, která ovšem může být nahrazena tryskou o jiném průměru. Samozřejmě je i chladič, na který je možno připevnit ventilátor o rozměrech 30x30x10mm.

6.3 XCR3D 2IN1-S1 Hotend J-head 12V/24V

Druhou zkoušenou hlavou je hlava XCR3D, kde se filamenty potkávají již při cestě do tepelného bloku a taví se tak společně. To napovídá lepšímu promíchání barev. Topné těleso nebylo součástí balení, nicméně je možné použít jakékoliv topné těleso na 12V nebo 24V. Průměr trysky je 0,4mm, je vyměnitelná, stejně tak je lehce demontovatelný tepelný blok. Samozřejmě opět nechybí možnost připevnění 30x30x10mm ventilátoru pro chlazení hlavy.



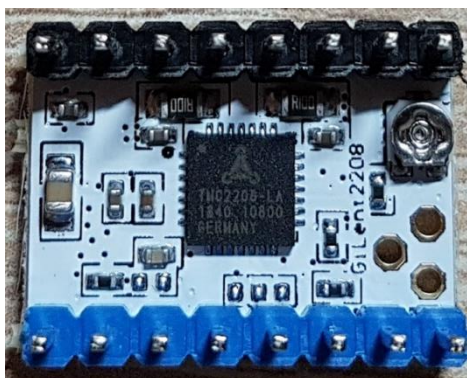
Obr. č. 20: Tisková hlava s Cyclop



Obr. č. 21: Tisková hlava XCR 3D

6.4 Driver TMC2208

Celkem bude zařízení obsahovat dva drivery. Byly zvoleny TMC2208 z důvodu velmi tichého chodu a použití v testovací 3D tiskárně Creality Ender 3.



Obr. č. 22: Driver TMC2208

6.5 Ventilátor

Kvůli předpokládanému velkému tepelnému zatížení driverů je nutné nainstalovat ventilátor, který bude odvádět přebytečné teplo ven z boxu, kde bude umístěna řídicí elektronika, aby nedošlo k přehřátí. Na driverech jsou pasivní chladiče, které odvádí teplo, ale je potřeba toto vzniklé teplo odvést i ven z boxu.

Jelikož se předpokládá použití ventilátoru o napájecím napětí 24V, 12V nebo 5V, který by spínal pouze při dosažení dané teploty, a protože MCU je schopno dodat pouze

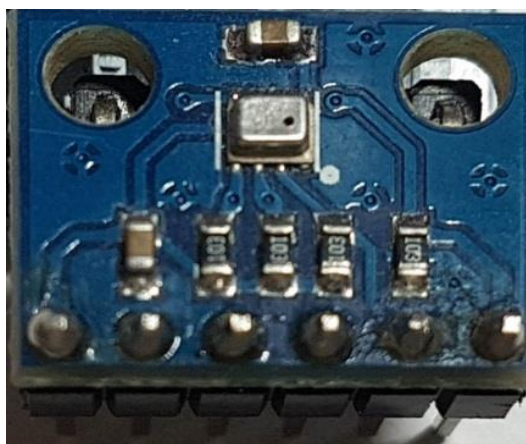
napětí 5V je nutné vytvořit spínač pomocí tranzistoru. Použit bude N kanálový MOS tranzistor, který při buzení gate otevře přechod mezi drainem a sourcem a umožní tak spustit ventilátor.

6.6 Snímač teploty BMP280

Aby se ventilátor mohl sepnout pouze za podmínky dosažení jisté teploty, je zde potřeba zajistit snímání teploty. To bude prováděno pomocí BMP280 od firmy Bosch.

Jedná se o osmi pinový IO zapouzdřený v kovovém LGA pouzdru, schopný komunikovat s MCU jak pomocí I2C, tak pomocí SPI. V tomto případě bude využita komunikace přes I2C.

Jeho nativní vlastnost je měření tlaku s přesností $\pm 0,12\text{hPa}$ (ekvivalent k $\pm 1\text{m}$ výšky). Teplota se poté dopočítává pomocí programu. Je schopen měřit tlak od 300hPa do 1100hPa (ekvivalent od 9000m do -500m nadmořské výšky; je tak schopen pomocí SW měřit i nadmořskou výšku) Může být provozován v teplotách od -40°C do 85°C .



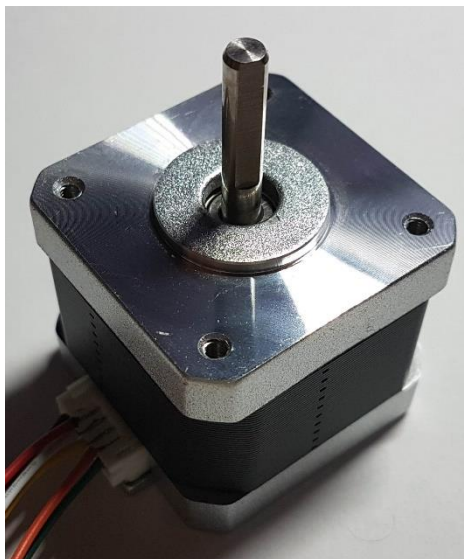
Obr. č. 23: BMP280

6.7 Krokový motor 17HS4401

Tento krokový motor má délku $42,3\text{mm}$, šířku $42,3\text{mm}$ a hloubku 40mm . Úhel jednoho kroku činí $1,8^{\circ}$. Odpor na fázi činí $1,5\Omega$, indukce na fázi $2,8\text{mH}$ a jmenovitý proud $1,7\text{A}$.

Jeho přidržovací moment (angl. holding torque), což je moment potřebný k rozpohybování krokového motoru ze stacionární polohy a činí 40Ncm . Jeho zadržovací moment (angl. detent torque), což je hodnota zatížení, kterou je hřídel schopna udržet, aniž by se pootočila, pokud je motor v nezapojeném stavu. Jeho hodnota je $2,2\text{Ncm}$. Tento motor může být používán jak v čtyř vodičovém uspořádání (Bipolární), tak v šesti vodičovém (unipolárním) [33]. V tomto případě bude využito čtyř vodičové uspořádání. Na motory jsou dále připevněny hliníkové podavače filamentu MK8.

Ve výsledném zařízení budou použity dva krokové motory.



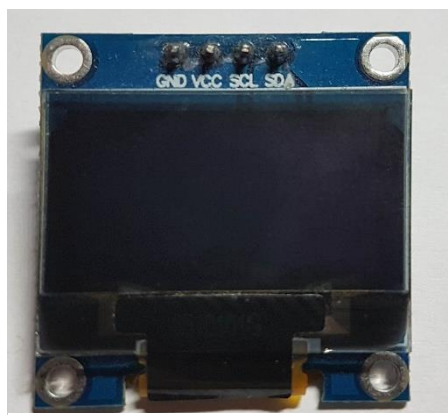
Obr. č. 24: Krokový motor 17HS4401

6.8 SSH1106 128x64 OLED Display

Jedná se o displej typu OLED (Organic Light Emitting Diode) s řadičem SSH1106, jehož zobrazovací jednotku tvoří 128 horizontálních a 64 vertikálních pixelů.

S MCU komunikuje ve dvou vodičovém provedení I2C, kde jeden z vodičů je datový (SDA) a druhý hodinový, který zajišťuje synchronizaci (SCL). Napájecí napětí je od 3,3 do 5V. Jeho rozměry jsou 35x33mm.

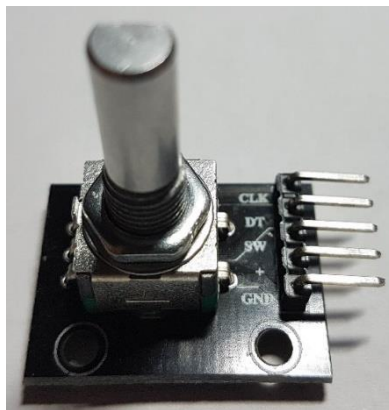
Původním záměrem bylo osadit zařízení 16x2 LCD s řadičem Hitachi HD44780U. Z tohoto bylo ovšem upuštěno z důvodu úspory pinů na MCU. 16x2 LCD zabíral šest pinů v úspornějším čtyř bitovém provedení. SSH1106 zabírá pouhé 2 piny a nabízí i větší možnosti zobrazování.



Obr. č. 25: Displej SSH1106

6.9 Rotační enkodér

Rotační enkodér byl zvolen z důvodu úspory místa, kdy může nahradit tlačítka, uspořít místo na čelním panelu a zjednodušit ovládání, kde by se mohlo zbytečně mnoho tlačítek stát zmatečnými pro uživatele. Použitý enkodér umožňuje stiskem ovládací hřídele funkci potvrzení.



Obr. č. 26: Rotační enkodér

7 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Bylo potřeba výše zmíněné komponenty uspořádat do funkčního celku s tím, aby byly, pokud možno, na co nejmenší ploše, se zajištěnou, nepřetržitou funkčností, odolnou vůči mechanickým rázům. Tyto rázy se mohou přenášet z 3D tiskárny, přes její hliníkový rám, až do samotného zařízení, pokud bude zařízení umístěno na 3D tiskárně. Pro řídicí elektroniku se jako nejvhodnější řešení jeví použití desky plošných spojů (DPS)

Veškerá schémata a DPS byla navržena v programu Eagle verze 9.5.1.

7.1 Schéma zapojení

Schéma zapojení obsahuje veškeré komponenty z kapitoly 7, pospojované tak, aby splnily požadovanou funkci. Jelikož se předpokládá využití napájení ze zdroje 3D tiskárny, musela být vyřešena otázka nejen regulace napětí pro komponenty pracující s 5V a 3,3V, ale i přepínání mezi dvěma nejčastějšími napětími, které jsou u zdrojů 3D tiskáren používány, a to 12V a 24V (přílohy D a E). Schéma bylo navrženo tak, aby se zapojení dalo osadit různými drivery (TMC2208, TMC2209, A4988...).

Tento problém byl vyřešen tzv. napěťovým autoselectorem tvořeným z MOS tranzistoru s P kanálem a příslušnými odpory připojenými k gate MOS tranzistoru.

Dále bylo navrženo schéma pro vstupní a výstupní komponenty (příloha F) jako je OLED display a rotační enkodér. Dále v tomto schématu byly umístěny LED pro indikaci vstupních kroků a směru otáčení motorů a LED pro indikaci napájení. Posledním, třetím,

schématem bylo zapojení umožňující zasazení do patice v 3D tiskárně místo driveru, jejímiž výstupy jsou napájení (24V nebo 12V) a pulzy pro STEP a DIR (příloha G).

Schématata je možno nalézt v přílohách na konci bakalářské práce.

7.1.1 Funkce autoselectoru

Funkce autoselectoru spočívá v tom, že dokáže odpojit napětí s nižší prioritou při připojení napětí s vyšší prioritou. V tomto případě se o nižší prioritu jedná u napětí 12V a vyšší u napětí 24V. Pokud budeme mít připojené napětí pouze 12V, bude na gate tranzistoru Q3 nulové napětí a tranzistor bude otevřen. Při připojení 24V dochází ke snížení napětí tohoto na polovinu (12V) odporovým děličem R10 a R12 a na gate tranzistoru Q3 se nyní nachází 12V. Toto napětí vyplývá ze vzorce:

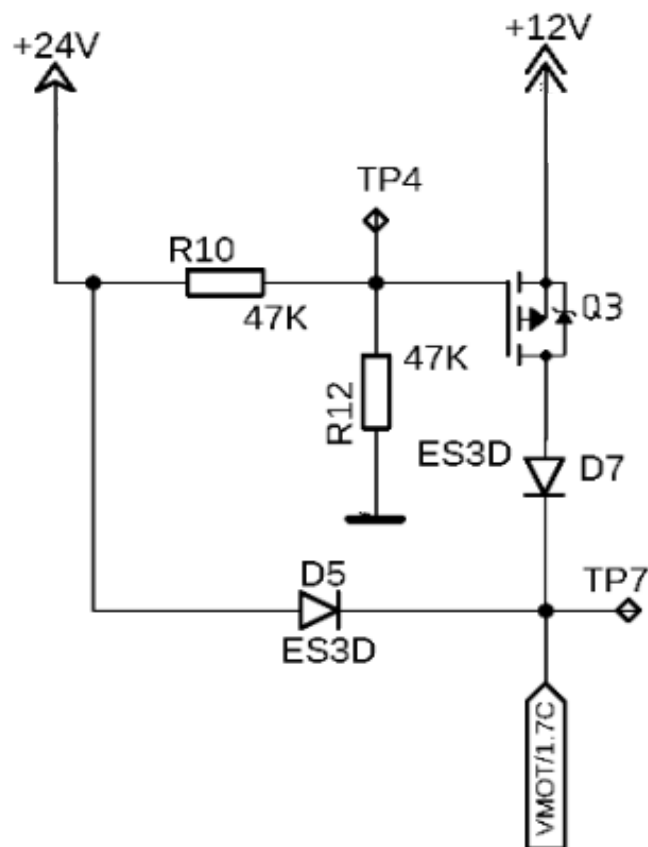
$$U_{OUT} = U_{IN} * \frac{R_{12}}{R_{10} + R_{12}} [V] \quad (8.1)$$

Po dosazení:

$$U_{OUT} = U_{IN} * \frac{R_{12}}{R_{10} + R_{12}} = 24 * \frac{47 * 10^3}{47 * 10^3 + 47 * 10^3} = 12V$$

Toto napětí je shodné s napájecím napětím 12V, které se nachází na source, drain a tranzistor se zavře. Jediné napětí na výstupu je nyní 24V. Důvod odporového děliče spočívá v tom, že většina tranzistorů má maximální napětí na gate 20V.

Dioda D7 je zde z důvodu, aby se 24V nedostávalo přes ochrannou diodu tranzistoru Q3 na 12V vstup. Dioda D5 je zde ze stejného důvodu, akorát aby se 12V nedostávalo jak na odporový dělič, tak na vstup pro 24V.



Obr. č. 27: Autoselector s PMOS tranzistorem

7.2 Návrh DPS

7.2.1 Hlavní DPS pro směřování

Tato DPS patří k jedné z nejdůležitějších částí. Nachází se na ní vstupy pro 24V a 12V a vstupy pro signály z 3D tiskárny. Dále je zde osazeno:

- Arduino Nano s mikrokontrolérem ATmega328p,
- oba drivery pro krokové motory a jejich výstupy
- senzor teploty BMP280
- část zajišťující snižování napětí na 12V a 5V
- dva autoselectory.
- konektory pro připojení ventilátorů a přepínač pro 24V, 12V a 5V ventilátor.

Byla snaha na jednu stranu DPS osadit část, která má na starost regulaci napětí a na stranu druhou samotné zapojení pro směřování.

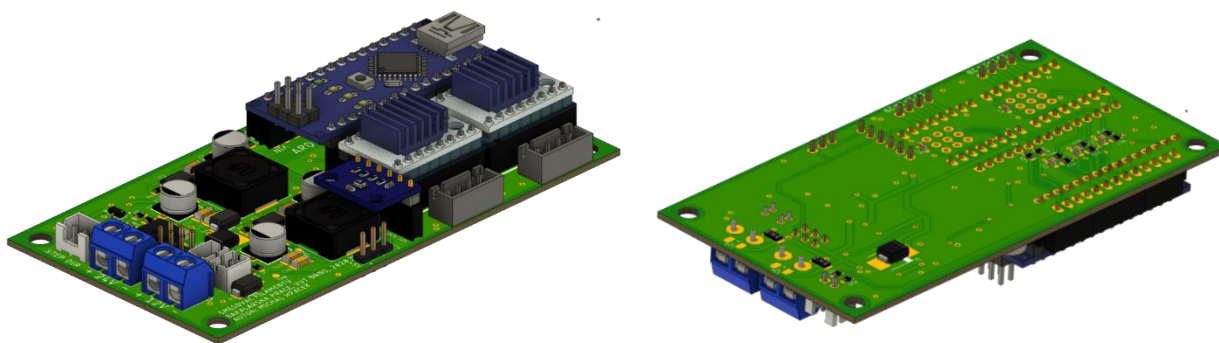
Dalšími výstupy jsou dutinky, které jsou určeny pro DPS určenou pro uživatelské vstupy a výstupy. (viz. kap. 7.2.2). Desky spolu svírají úhel 90°.

Veškeré komponenty, které jsou náchylné na zničení neopatrnou manipulací, jako jsou Arduino Nano, BMP280 a motorové drivery, jsou pouze vsazeny na zapájené patice. Tyto komponenty jsou tedy lehce vyměnitelné. Pod motorovými drivery se také nachází přepínače pro volbu mikrokroků. Pro každý driver jsou zde tři přepínače (MS1 – MS3).

DPS obsahuje také HW ošetření zákmitů. Toto ošetření se nachází i na DPS pro uživatelské vstupy a výstupy (viz. kap. 7.2.2), a to z důvodu aby bylo možné tuto DPS provozovat zcela samostatně. V případě připojení DPS pro uživatelské vstupy a výstupy nemusí být HW ošetření zákmitů osazováno, stačí ji na příslušných místech (R14, R16 a R18) osadit pouze propojkami.

Nezbytnou součástí na této DPS je i ochrana proti nadproudům a proti přepětí v podobě SMD pojistek a SMD varistorů. Také jsou zde zakončovací odpory přizpůsobení odrazům na vedení (R5, R19, R20, R21).

DPS má celkové rozměry 97x51mm. Byla navržena s co nejmenším rozměrem. V rozích této DPS jsou umístěny otvory o průměru 4mm pro uchycení v krabici.



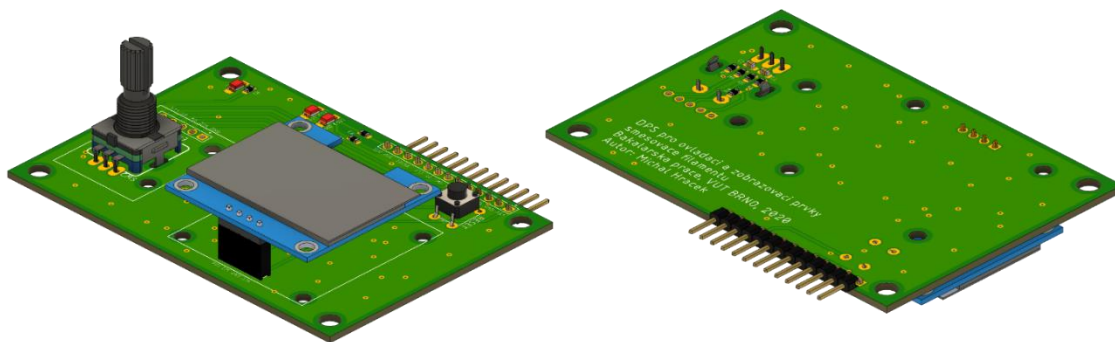
Obr. č. 28: 3D model hlavní DPS pro směšování

7.2.2 DPS pro uživatelské vstupy a výstupy

Hlavní částí této DPS tvoří OLED a rotační enkodér, který je zde možno zapájet dvěma způsoby. A to jako modul (Obr. č. 26) nebo jako samostatný enkodér.

Pro provedení „samostatný enkodér“ je zde ze spodní strany DPS připraven HW obvod pro odstranění zákmitů. Dále se zde nachází LED indikující zapnutí zařízení a dvě LED pro indikaci STEP a DIR pulzy, které přicházejí z 3D tiskárny.

Na DPS se nachází i tlačítko pro resetování Arduina NANO. Jako konektor byl zvolen 13pinový hřebínek s úhlem zahnutí 90° pro jednoduché připojení na hlavní DPS pro směšování (7.2.1). Rozměry této DPS činí 81x56mm. V rozích jsou umístěny otvory s průměrem 4mm pro uchycení na čelní stranu krabice a otvory o průměru 3mm pro uchycení modulu enkodéru a OLED displeje.



Obr. č. 29: 3D model DPS pro uživatelské vstupy a výstupy

7.2.3 DPS pro výstupy z 3D tiskárny

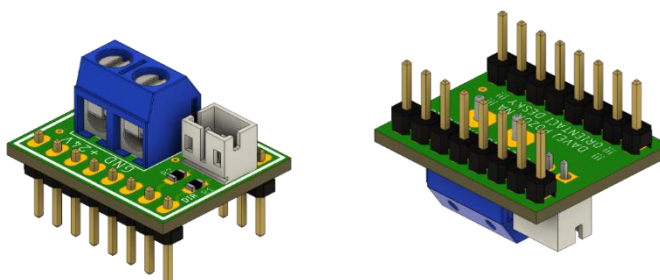
Třetí a zároveň nejjednodušší deska slouží k vyvedení:

- napájecího napětí
- pulzů STEP a
- signálu DIR z 3D tiskárny.

Umisťuje se na místo původního driveru pro extruder a slouží pouze jako propojka, kdy uživatel zapojí příslušné vodiče do svorkovnic a poté tuto DPS správně umístí do 3D tiskárny na místo původního motorového driveru pro extruder.

Jelikož se piny pro napájecí napětí a piny pro STEP a DIR nacházejí úhlopříčně proti sobě nebyla možnost zde udělat ochranu proti otočení DPS o 180° např. vyjmutím některých pinů. Je tedy čistě na pozornosti uživatele, jestli tuto DPS osadí správně.

Na této DPS se tedy nachází pouze dvě svorkovnice a dva zakončovací odpory pro přizpůsobení odrazům na vedení. Rozměry DPS jsou 17,6x21,49mm.



Obr. č. 30: 3D model DPS pro výstupy z 3D tiskárny

7.2.4 Získání 3D modelů

Některé 3D modely použité v této bakalářské práci byly získány z internetových stránek GrabCad a Autodesk. A to jmenovitě: tranzistor v pouzdře DPAK a dioda v pouzdře SMB [34], induktor [35], TH konektory pro připojení modulů, DPS nebo volby napájení [36], TH konektory pro připojení ventilátorů [37], motorových kabelů [38], připojení vodičů pro DIR a STEP [39], svorkovnice pro napájecí kabely [40], OLED display 1,3" [41], rotační enkodér [42], spínací tlačítko [43], SMD pojistka [44], Arduino NANO [45], modul BMP280 [46].

Autorem práce byl vytvořen model driveru TMC2208 a jeho chladič. Ostatní modely jsou implicitní modely z knihoven programu Eagle.

7.3 Spotřeba zařízení

Největší část proudové spotřeby mají ventilátory, které odebírají proud 200mA., Tvoří tedy většinu z celkového odebíraného proudu na vstupu zařízení. Zbylou část proudové spotřeby, tedy proudový odběr 94,8mA, tvoří odběr ostatních komponentů jako je např. Arduino nebo logika driverů TMC2208. Jedná se samozřejmě o spotřebu pouze řídicí části obvodu. Jedná se samozřejmě o spotřebu pouze řídicí části obvodu.

Spotřeba motorů je značně vyšší. Maximální proud odebíraný oběma motory je do 3A. Proud lze snížit pomocí proudového omezení. V tomto případě je proudové omezení nastaveno na 660mA pro jeden motor, tedy celková spotřeba motorů je 1,32A. HW omezení proudu na hodnotě 3A tvoří diody D5 a D7, jejichž maximální proud v propustném směru je právě 3A.

Tranzistor Q3 má ovšem maximální proud mezi drain a source 11A. Znamená to, že pokud bychom chtěli nainstalovat drivery, které by v součtu měly více než 3A, stačí vyměnit diody D5 a D7.

Tranzistor Q3 má v tomto zapojení funkci pouze pro napájení 12V. Pokud zařízení bude napájeno pouze ze 24V zdroje, dioda D5 může být odstraněna, plošky pro její připojení překlenuty můstkem. Příslušné motorové drivery mohou pak být zatíženy vyšším proudem, maximálně proudem jmenovitým.

V následující tabulce je uvedena spotřeba jednotlivých komponent a celkovou spotřebu zařízení pro řídicí část.

Tab. č. 2: Spotřeba použitých zařízení

Zařízení	I[mA]
Arduino Nano	50
TMC2208	10
TMC2208	10
TPS5410D	4,4
TPS5410D	4,4
SSH1106	16
BMP280	0,027
Ventilátor	2x100
Σ	294,8

7.4 Použité součástky

Použité odpory a kondenzátory byly primárně voleny z řady 0603. Výjimky v podobě řady 1206 byly voleny z důvodu doporučení výrobce regulátoru napětí TPS5410.

Elektrolytické kondenzátory (radiální plechovka) byly voleny s průměrem 6,3mm. Tato velikost elektrolytických kondenzátorů byla volena zejména kvůli tomu, aby se velikostně vešly pod motorové drivery a zmenšil se rozměr DPS. Jejich výška poté závisela na kapacitě a jmenovitém napětí.

Rozpisku součástek lze nalézt v přílohách S, T, U a V.

7.4.1 TPS5410D

Jedná se o spínaný regulátor napětí, který má přepínací frekvenci 500kHz a maximální vstupní proud 1A. Jeho vstupní napětí je od 5,5V do 36V, kdy na výstupu může mít jakékoliv napětí, které je nižší než vstupní. Toto napětí se volí dvěma odpory, které tvoří napěťový dělič R_1 , R_2 ve zpětné vazbě tohoto regulátoru. Datasheet uvádí doporučenou hodnotu pro R_1 10k Ω a hodnota R_2 je dpočítána dle vzorce [47]:

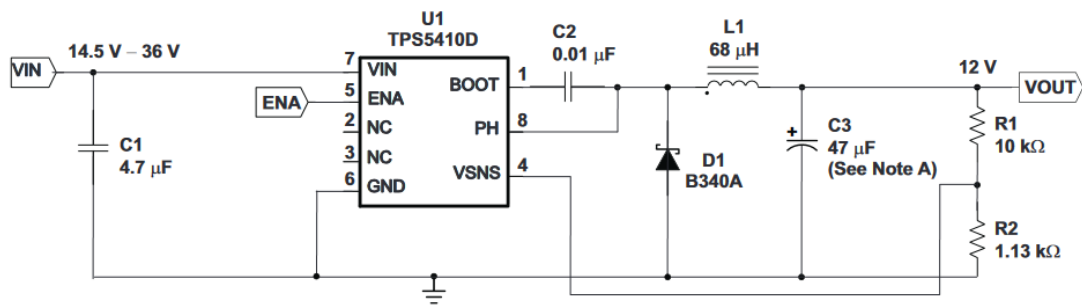
$$R_2 = \frac{R_1 * 1,221}{U_{OUT} - 1,221} [\Omega] \quad (8.2)$$

Pro výstupní napětí 12V je odpor R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 * 1,221}{U_{OUT} - 1,221} = \frac{10 * 10^3 * 1,221}{12 - 1,221} = 1,13 \text{ k}\Omega$$

Pro výstupní napětí 5V je odpor R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 * 1,221}{U_{OUT} - 1,221} = \frac{10 * 10^3 * 1,221}{5 - 1,221} = 3,24 \text{ k}\Omega$$



Obr. č. 31: Typické zapojení obvodu s TPS5410D [48]

Veškeré hodnoty součástek, které jsou v řešení použity a zajišťují funkčnost TPS5410D, byly zvoleny podle návrhu v programu WEBENCH® Power Designer od Texas Instruments [49].

Tento spínaný regulátor byl vybrán z důvodu vysoké přepínací frekvence (500kHz) a vysoké účinnosti. Pro regulátor 24V/12V je účinnost $\eta_{24/12} = 94,4\%$ a pro regulátor 12V/5V $\eta_{12/5} = 90,4\%$. Celková účinnost regulátorů tedy činí:

$$\eta_{celk} = \eta_{24/12} * \eta_{12/5} [-] \quad (8.3)$$

$$\eta_{celk} = \eta_{24/12} * \eta_{12/5} = 0,944 * 0,904 = 0,853$$

V procentech poté:

$$\eta_{celk}[\%] = 0,853 * 100 = 85,3\%$$

Byl zvolen také z důvodu pouzdra. Pouzdro SOIC-8 má malé rozměry a umožňuje tak vytvořit kompaktnější DPS.

Spotřeba celého zařízení (7.3) se pohybuje okolo 290mA, tudíž 1A regulátor napětí je dostačující.

Maximální vstupní napětí je 36V. Z výše uvedeného vyplývá, že zařízení může být napájeno pouze napětím, které je v tomto případě omezeno použitými elektrolytickými vstupními kondenzátory. To znamená pro 24V vstup maximálně 35V a pro 12V vstup maximálně 25V.

8 UCHYCENÍ TISKOVÉ HLAVY

Protože standartní uchycení tiskové hlavy na tiskárně Ender 3 nebylo vhodné pro uchycení hlavy cyclop J-HEAD CR8/CR10 musel být navržen nový úchyt. Uchycení muselo být provedeno na původním pojezdovém mechanismu osy X, kterým tiskárna Ender 3 disponuje.



Obr. č. 32: Pohled na pojezdové ústrojí osy X u tiskárny Ender 3. Pohled zezadu (vpravo) a zepředu (vlevo)

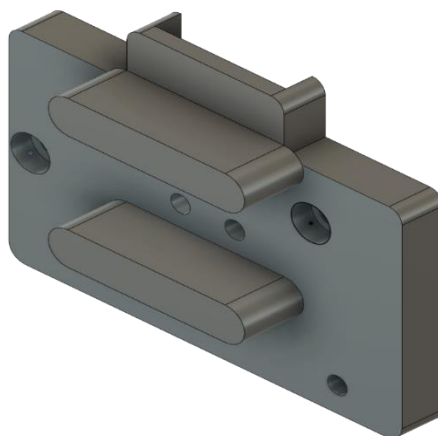
8.1 Hliníkový profil, distanční deska

Jak je patrné z Obr. č. 32 v přední části se nachází dva distanční sloupky, které slouží pro uchycení původní tiskové hlavy. Proto tato nerovnost musela být dorovnána hliníkovou distanční deskou o rozměrech 60x25x5mm. Použití této distanční desky odstranilo i kolizi tiskové hlavy se šrouby, přes které jsou uchycena pojezdová kola.

8.2 Podložka pro tiskovou hlavu

Podložka pro tiskovou hlavu byla primárně navržena pro pojezd, který je vidět na Obr. č. 32. Nicméně se při změně upevňovacích otvorů dá použít i na jiné pojezdové ústrojí. Tisková hlava se připevní k distančním nálitkům (oválné výstupky na podložce), které jsou součástí podložky a mají výšku 9mm. Tyto nálitky jsou z důvodu průchodu chladného vzduchu na zadní stranu tiskové hlavy a jejího chladiče. Toto řešení upevnění tiskové hlavy zaručuje i to, aby hlava doléhala co nejméně na podložku, kvůli její vysoké teplotě.

Technický výkres lze nalézt v příloze N.



Obr. č. 33: 3D model podložky pro tiskovou

8.3 Chlazení hlavy

Pro chlazení tiskové hlavy byla navržena konstrukce, která slouží pro uchycení až tří ventilátorů o rozměrech 40x40x10mm.

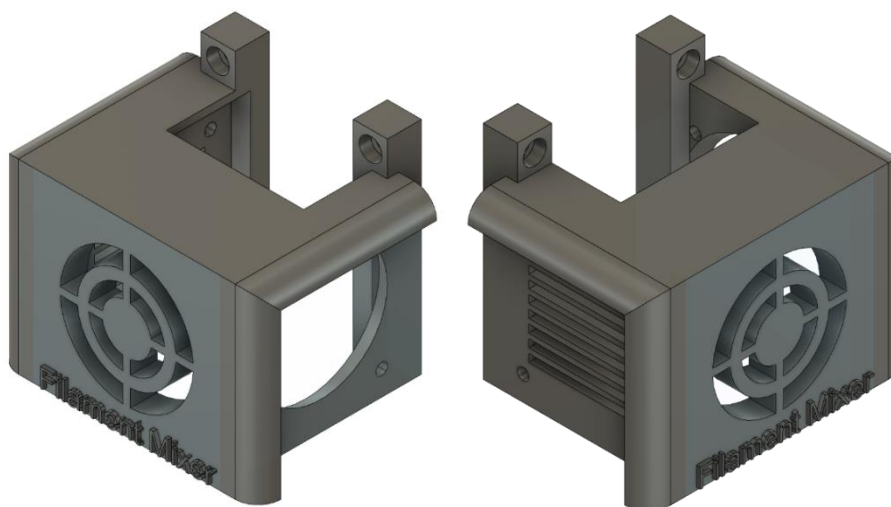
Tato konstrukce obsahuje dvě přichytná místa k podložce, dále pak uchycení ventilátoru ze přední strany a ventilátoru jak z levé, tak i z pravé strany. Přední ventilátor je uchycen zevnitř konstrukce a před vnějším dotykem osob je chráněn mřížkou.

Na pravé straně (Obr. č. 34) je patrný kruhový otvor. K tomuto otvoru je přichycen druhý ventilátor, který v případě potřeby chladí tiskovou hlavu.

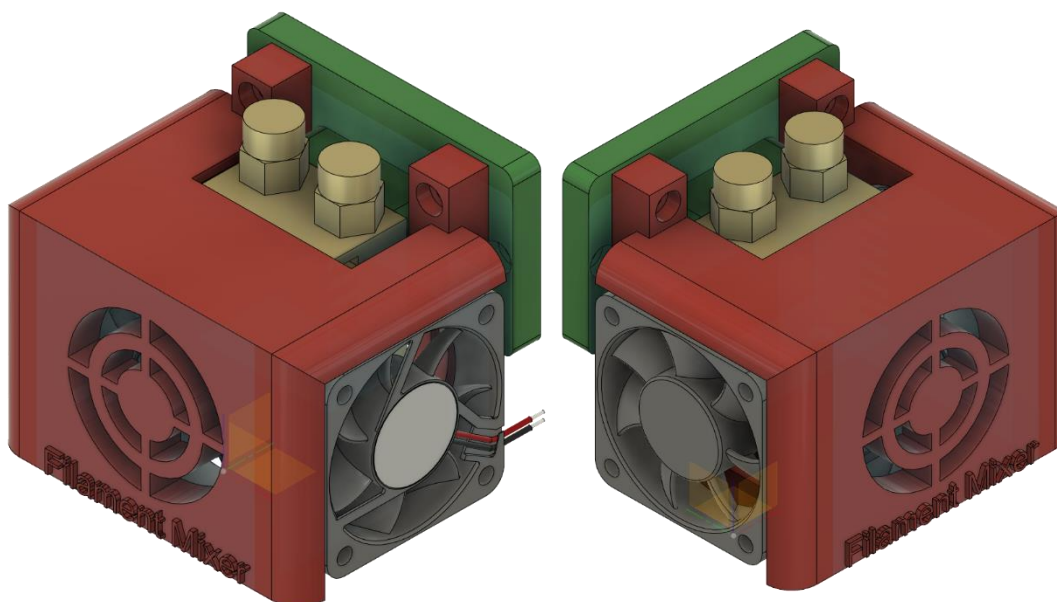
Třetí ventilátor je možno uchytit na levou stranu konstrukce. Protože tato aplikace není nutná, je v místě pouze mřížkovaný otvor s funkcí přirozeného chlazení. Tento ventilátor je možné osadit v případě, že by stávající dva ventilátory nebyly dostačující. Mřížka slouží k tomu, aby se uživatel nemohl dotknout horké části a zároveň, aby tato část byla alespoň částečně chlazená okolním vzduchem.

Technický výkres této konstrukce je možné nalézt v příloze O

Tento díl byl vytištěn na 3D tiskárně z PLA filamentu Prusament Jet Black s průměrem 1,75mm. 3D model byl vymodelován v programu Fusion360 od firmy Autodesk.



Obr. č. 34: 3D model konstrukce pro chlazení hlavy



Obr. č. 35: 3D model zkompletovaného uchycení pro tiskovou hlavu
(žlutá barva)

Modely ventilátorů jsou převzaté z [50].

9 NÁVRH KRABÍČKY

Krabička, do které byly umístěny DPS se skládá ze dvou částí. Z vrchního dílu, na který je možno přichytit až dva ventilátory a z vlastní krabičky (skříňky). Obě části byly navrženy a vytisknuty na 3D tiskárně. K tisku byl použit opět filament PLA Prusament Jet Black s průměrem 1,75mm. Krabička byla vymodelována v programu Fusion360 od firmy Autodesk.

9.1 Hlavní část skříňky krabičky

V této části krabičky se nachází čtyři distanční sloupky o výšce 5mm, pro připevnění hlavní DPS. Na přední straně skříňky je otvor pro display a pro uchycení enkodéru. Dále otvory pro LED indikující zapnutí a otvor pro přístup k reset tlačítku.

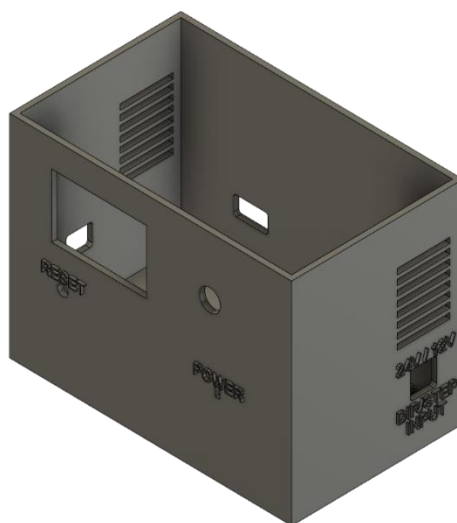
Na pravém boku je zhotoven otvor pro vstup napájecích a signálních kabelů (STEP a DIR) a chladicí mřížka. Chladicí mřížka je také na levé straně. Je zde i otvor pro USB konektor pro připojení kabelu typu USB mini (konektor je součástí Arduino Nano).

USB připojení slouží pro 5V napájení logických obvodů, dále pro možnost testování FW nebo pro nahrání jeho nové verze.

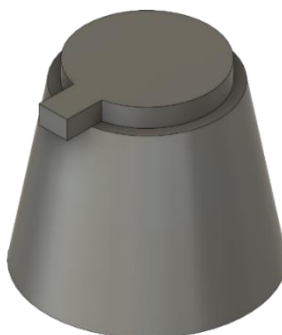
Na zadní straně se nachází pouze otvor pro přívod motorových kabelů.

Skříňka je navržena pro volné uložení vedle 3D tiskárny, případně uchycení k její spodní části. Způsob uchycení je ponechán na volbě uživatele. Technický výkres lze nalézt v příloze P.

Byl navržen a na 3D tiskárně vytisknut také ovládací knoflík pro rotační enkodér. Jeho technický výkres lze nalézt v příloze Q.



Obr. č. 36: 3D model navržené krabičky

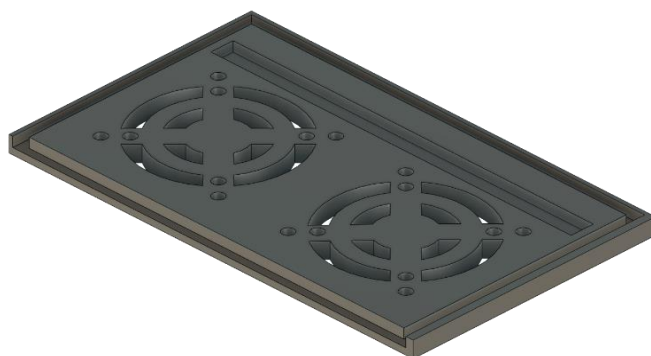


Obr. č. 37: 3D model krytu pro
rotační enkodér

9.2 Vrchní díl skřínky

Tento díl obsahuje dva montážní prostory pro ventilátory, a to jak pro ventilátor o rozměrech 40x40x10mm, tak pro ventilátor o rozměrech 30x30x10mm. Dále obsahuje ze spodní strany drážku pro nasunutí v požadované pozici na krabičku. Výřez (zhloubení) je z důvodu, většího odstupu od DPS pro uživatelské vstupy a výstupy (7.2.2).

Technický výkres lze nalézt v příloze R.



Obr. č. 38: 3D model vrchního dílu krabičky-spodní pohled

10 FIRMWARE

Firmware byl psán v jazyku Wiring, který vyháází z C++. Jedná se o jazyk, který se ve velké míře používá pro programování Arduino desek a modulů. Byl použit program MS Visual Studio Code od firmy Microsoft s nástavbou Platform IO, která podporuje stejné funkce jako program Arduino IDE pro veškeré mikroprocesory ATmega.

Mimo jiné podporuje i další mikroprocesory jako např. ESP, STM32, MSP nebo i vývojové kity Raspberry.

Pro nahrání firmwaru bylo použito rozhraní ISP s programátorem USBasp a pomocí programu AVRDUDESS byl nahráván soubor s příponou .hex.

10.1 Využití paměti RAM a FLASH pro ATmega328p

Je patrné, že byla využita značná část flash paměti a to zejména knihovnou pro grafický display U8glib.h. Samotná knihovna zabírá zhruba 30% paměti flash z 32kB. Hodnoty využití RAM a Flash jsou převzaty z kompilátoru MS Visual Studio Code.

```
RAM:      [===== ] 66.8% (used 1369 bytes from 2048 bytes)
Flash:    [===== ] 88.9% (used 27308 bytes from 30720 bytes)
```

10.2 Funkce firmwaru

Hlavní funkcí firmwaru je získávat impulzy STEP a DIR a v příslušném poměru posílat příchozí impulzy STEP pinu na jednotlivé motorové drivery. To je zajištěno pomocí externího přerušení, funkcí if, else if a inkrementací dané proměnné (viz. kap. 10.4 a 10.3.1).

Dále FW nabízí menu, ve kterém si uživatel může nastavit teplotu automatického spínání ventilátoru na požadované hodnotě, dále vypnutí/zapnutí motorů nebo možnost mít ventilátory stále zapnuté bez závislosti na teplotě. Poslední položkou v menu je možnost zobrazit informace o aktuální verzi FW a včetně jeho data vydání.

Přecházení v menu a mezi poměry směřování je řešeno pomocí stavového automatu s využitím funkce switch.

10.3 Získávání pulzů z 3D tiskárny

Příchozí impulzy z 3D tiskárny jsou zpracovávány pomocí externího přerušení, kterým Arduino Nano disponuje na pinech D2 a D3. Toto přerušení má obecný zápis `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), ISR, mode)`.

Kde **digitalPinToInterrupt** je pin, který vyvolává přerušení, **ISR** je funkce, která se vykonává při vyvolání přerušení a **mode** je stav, který vyvolá přerušení.

- Mode může nabývat čtyř stavů: reakce na nástupnou (RISING)
- reakce na sestupnou hranu (FALLING)
- reakce na stav, kdy pin je v logické 0 (LOW)
- reakce dojde-li na pinu ke změně (CHANGE).

Vývojové kity Due, Zero a MKR100 podporují ještě pátý stav a to stav, který reaguje, pokud je pin v logické 1 (HIGH) [51].

10.3.1 Přerušení ve FW

Přerušení v napsaném FW využívá pouze stavů FALLING a RISING, které mění v závislosti na předchozím stavu. To v praxi znamená, že na pozici mode se nachází proměnná, která mění svůj parametr právě na stav FALLING nebo RISING. V následující ukázce se jedná o přepínání směru motorů.

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(readPinSTP), stpPulse_1, stpState;
```

V tomto případě:

- **readPinSTP** je pin, který přijímá signál z 3D tiskárny. Je tedy nastaven jako vstup
- **stpPulse_1** je funkce, která zpracovává stavy a posílá na výstupní piny dané příkazy
- **stpState** je proměnná, která nabývá hodnot FALLING nebo RISING.

Samotná funkce `stpPulse_1` vypadá následovně:

```
void stpPulse_1() //Funkce pro zmenu stavu pro STEP na zaklade
{
    // predchozich argumentu

    enable_motor();

    digitalWrite(stepPin_1, stepPin1_Status); //vystup podle urovne
                                              //stepPin1_Status
    if (stpState == RISING) //prepnuti stavu
    {
        stpState = FALLING;
        stepPin1_Status = LOW;
    }
    else if (stpState == FALLING) //prepnuti stavu
    {
        stpState = RISING;
        stepPin1_Status = HIGH;
    }
    else //havarijni stav; pokud dojde k neocekavanemu stavu, vse
    {
        // nastavi na vychozi hodnoty
        stpState = FALLING;
        stepPin1_Status = LOW;
    }
}
```

Jak je vidět, kód mění stav `stpState` právě na opačný stav, než na který reagoval. Je to nutné z důvodu aby reagoval na nástupnou hranu a přitom je v logické 1, aby zareagoval na další impuls, kterým bude sestupná hrana na logickou 0. Je tím zajištěno, že jedna funkce dokáže obsloužit oba stavy v programu a tak není nutné psát další přerušení pro další funkci, která by obsloužila druhý stav.

Funkce `enable_motor()` vypadá následovně a jedná se pouze o doplňkovou funkci, která zapíná motory, pokud je uživatel vypne, např. kvůli výměně filamentu během tisku, a zapomněl by je zapnout.

```
void enable_motor(void) //funkce pro zapnuti motoru
{
    if(ENABLE_index == 1)
    {
        digitalWrite(enable_1, LOW); //zapnuti motoru
        digitalWrite(enable_2, LOW);
        ENABLE_index = 0; //nastaveni indexu do vychozi pozice
    }
}
```

10.4 Časovače

FW obsahuje také dva časovače. Jeden pro rotaci enkodéru a druhý pro stisk tlačítka. Oba časovače jsou nastaveny v CTC (angl. Clear Timer on Compare). Jedná se o porovnávání hodnoty čítače (TCNT0) s hodnotou OCR0A.

Pokud dojde k rovnosti, čítač se vynuluje a vstoupí do přerušení. OCR0A má maximální hodnotu 255 [52]. V tomto přerušení se nacházejí veškeré stavy pro rotaci či stisk tlačítka enkodéru, vždy pro příslušné menu.

```

void init_timer_0() //nastaveni timeru 0 pro otaceni enkoderu
{
    TCCR0A = 0;
    TCCR0B = 0;
    TCNT0 = 0;
    TCCR0A |= (1 << WGM01); //CTC mode
    OCR0A = 255; // 15625/255 = 61Hz => 16ms
    TCCR0B |= (1 << CS02) | (1 << CS00); //delicka 1024 = (16*10^6)/1024 =
                                         // = 15625 Hz
    TIMSK0 |= (1 << OCIE0A); //zapnuti porovnavani timeru
    sei(); //zapnuti timeru
}

void init_timer_1() //nastaveni timeru 1 pro tlacitko enkoderu
{
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCNT1 = 0;
    TCCR1B |= (1 << WGM12); //CTC mode
    OCR1A = 781; // 15625/781 = 20Hz => 50ms
    TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10); //delicka 1024 = (16*10^6)/1024 =
                                         // = 15625 Hz
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); //zapnuti porovnavani timeru
    sei(); //zapnuti timeru
}

```

10.5 Nastavování poměrů pro směřování

Pro směřování (dle požadovaného poměru) byla napsána funkce `void stp_Mixing()`, která vypadá následovně:

```

void stp_Mixing()
{
    if (step_counter == ALL_STEP_MOTOR)
        step_counter = 0;

    if(step_counter <= mix_step)
    {
        digitalWrite(stepPin_1, stepPin1_Status); //vystup podle urovne
                                                    // stepPin1_Status

        if ((stpState == RISING) && (stepPin1_Status == HIGH)) //prepnuti
                                                                // stavu
        {
            stpState = FALLING;
            stepPin1_Status = LOW;
        }
        else if ((stpState == FALLING) && (stepPin1_Status == LOW))
        {
                                                                //prepnuti stavu
            stpState = RISING;
            stepPin1_Status = HIGH;
        }
        else //havarijní stav; pokud dojde k neočekávanému stavu, vse

```

```

        //nastavi na "0"
    {
        stpState = FALLING;
        stepPin1_Status = LOW;
    }
    ++step_counter;
}

else if((step_counter > mix_step) && (step_counter <= ALL_STEP_MOTOR)
)
{
    digitalWrite(stepPin_2,stepPin2_Status); //výstup podle úrovně
                                                //stepPin2Status

    if ((stpState == RISING) && (stepPin2_Status == HIGH)) //prepnutí
                                                            //stavu
    {
        stpState = FALLING;
        stepPin2_Status = LOW;
    }
    else if ((stpState == FALLING) && (stepPin2_Status == LOW))
    {
                                                //prepnutí stavu
        stpState = RISING;
        stepPin2_Status = HIGH;
    }
    else //havarijní stav; pokud dojde k neočekávanému stavu, vse
    {
        //nastaví na "0"
        stpState = FALLING;
        stepPin2_Status = LOW;
    }
    ++step_counter;
}
}

```

Tato funkce funguje na obdobném principu, jako je popsáno v kapitole 10.3.1. Je zde navíc proměnná `step_counter`, která zajišťuje, že při zvoleném poměru bude na příchozí impulzy reagovat první nebo druhý motor. Tato proměnná je vždy na konci jednoho cyklu *if* nebo *else if* inkrementována a porovnávána s proměnnou `mix_step`, která je určována daným poměrem, pokud dojde do počtu rovnému `ALL_STEP_MOTOR`, vynuluje se.

Pokud tomu tak není, tak v prvních krocích, než dojde do hodnoty větší, než je `mix_step` posílá impulzy na první motor. Poté, pokud je `step_counter` větší než `mix_step`, tak posílá pulzy do druhého motoru.

Zde je jako ochrana použita podmínka, **že zároveň musí být menší nebo rovno celému počtu kroků** za celý cyklus `ALL_STEP_MOTOR` Pro proměnnou `mix_step` pak platí vzorec:

$$mix_step = \frac{ALL_STEP_MOTOR}{100} * (\text{poměr pro motor 1 v \%}) [-] \quad (11.1)$$

; kde `ALL_STEP_MOTOR` je definované číslo, určující celkový počet kroků, které se vykonají jak pro motor jedna, tak pro motor dvě v jednom směřovacím cyklu. Ideálně by toto číslo mělo být takové, aby po výpočtu vyšlo vždy celé číslo.

10.6 Spínání ventilátoru

Jak bylo popsáno v kapitole 6.5, ventilátory se spínají přes N kanálový MOSFET. Aby se tento MOSFET otevřel, je potřeba do něj přivést napětí, které je vyšší než jeho prahové napětí, tzn. logickou 1 z Arduino pinu (5V). To je zajištěno pomocí této funkce:

```
void vent(int aTemp) //sepnuti ventilatoru
{
    u8g.setFont(u8g_font_profont15); //velikost pisma pro display
    u8g.setPrintPos(0, 50); //pozice textu (osa X, osa Y)
    u8g.print("Vent:"); //text zobrazeny na display
    u8g.setPrintPos(5, 64); //pozice textu (osa X, osa Y)
    if(VENT_index == 0) // index pro stale sepnuti vent 0 = spinani s
    {
        // teplotou; 1 = stale sepnuty
        if(teplota >= aTemp) //sepnut pri dosazeni teploty
        {
            u8g.print(vent_on);
            digitalWrite(ventilator, HIGH);
        }
        else //vypnout pri nizsi teplotě
        {
            u8g.print(vent_off);
            digitalWrite(ventilator, LOW);
        }
    }
    else if (VENT_index == 1) //stale sepnut
    {
        u8g.print(vent_on);
        digitalWrite(ventilator, HIGH);
    }
}
```

Funkce začínající `u8g` jsou funkce pro zobrazování na display z knihovny `U8glib.h` [52]. Proměnná `VENT_index` se nastavuje na hodnotu 0 nebo 1 uživatelem v menu a zapíná ventilátory na stálo (hodnota 1). Pokud je tato možnost vypnutá (hodnota 0), program se dostává do další funkce `if`, kde rozhoduje, podle proměnné “teplota“, což je teplota změřená pomocí BMP280, jestli sepne ventilátor nebo ho nechá vypnutý. Proměnnou `aTemp` si uživatel také definuje sám a defaultně, po zapnutí, je nastavená na 60°C.

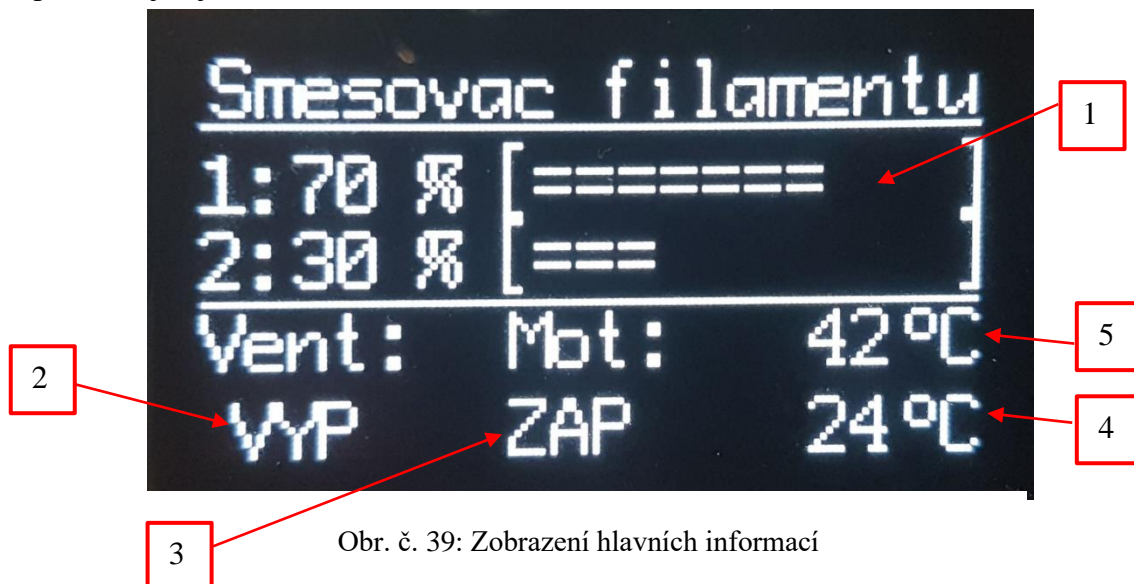
Funkce `digitalWrite(ventilator, value)`, poté odkazuje na pin, ke kterému je připojen gate spínacího MOS tranzistoru.

11 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

Uživatelské rozhraní vychází z ovládacího FW Marlin, který se používá ve většině 3D tiskáren. Na hlavní obrazovce lze nalézt veškeré podstatné údaje včetně aktuálního směšovacího poměru a stiskem tlačítka rotačního enkodéru spustit nabídku menu.

11.1 Hlavní zobrazení

Po zapnutí, poté co proběhne úvodní obrazovka, se objeví nejdůležitější informace, kterou uživatel potřebuje znát. Jedná se o procentuální poměr jednotlivých filamentů(1), které jsou dodávány do tiskové hlavy. Mimo jiné lze zde nalézt i informaci o zapnutí nebo vypnutí ventilátorů(2) a motorů(3) nebo aktuální teplotu uvnitř zařízení(4) a spínací teplotu(5), jak je možné vidět na Obr. č. 39.



Obr. č. 39: Zobrazení hlavních informací

11.2 Menu

Po stisku tlačítka na enkodéru uživatel vstoupí do menu o dvou stránkách, kde lze nalézt pět položek. Jmenovitě na první stránce návrat na hlavní obrazovku, nastavení spínání ventilátoru, zapnutí/vypnutí motorů, nastavení spínací teploty a na druhé stránce aktuální verzi FW. Celé menu v blokové podobě lze nalézt v příloze C.

V menu se uživatel pohybuje pomocí otáčení rotačního enkodéru a na jaké je právě položce zobrazuje šipka v levé části displaye.

11.2.1 Ventilátor

Tato nabídka obsahuje volbu trvalého sepnutí ventilátorů (nepřetržitý běh) nebo spínání ventilátorů při definované teplotě.

11.2.2 Motory

Tato nabídka nabízí vypnutí nebo zapnutí motorů, aby bylo možné např. vyměnit filament během tisku

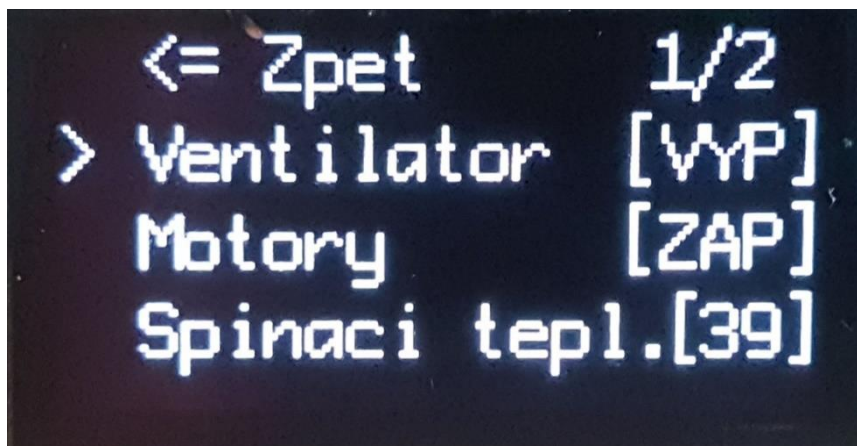
11.2.3 Spínací teplota

Tato nabídka nabízí změnu teploty, kdy sepnou ventilátory pomocí rotačního enkodéru. K potvrzení nově nastavené teploty dojde při výstupu z této nabídky. Minimální spínací

teplota činí 25°C, maximální poté 80°C. Minimální byla určena jako pokojová teplota, maximální jako obvyklá standardní maximální operační teplota IO.

11.2.4 Firmware verze

V této nabídce uživatel nalezne informace o aktuální FW verzi, měsíci a roce, kdy byla vydána



Obr. č. 40: Ukázka menu

12 SMĚŠOVÁNÍ

Směšování bylo prováděno oběma hlavami, které byly k dispozici. Nejdříve bylo směšování zkušeno s hlavou XCR 3D a poté s J-HEAD CR8/CR10. První zkušební směšování probíhala v poměru 50/50.

Základem dobrého směšování je předpoklad, aby oba materiály filamentu byly stejného druhu (PLA, ABS) a to z důvodu nejen různých vlastností materiálů, ale i z důvodu různých teplot pro tiskovou podložku nebo extruder.

Tab. č. 3: Porovnání teplot jednotlivých materiálů

Materiál	Teplota podložky[°C]	Teplota extruderu[°C]
PLA	50	215
ABS	100	240
PET	80	250
Nylon	90	240
PETG (flexibilní)	90	240
TPE (flexibilní)	40	215

Z Tab. č. 3 je patrné, že flexibilní materiály mají podobné nebo stejné teploty extruderu a podložky jako pevné. Pro PLA je podobný materiál TPE, pro ABS PETG.

Jelikož ale PLA (ABS) není materiálem flexibilním, ztrácí smysl míchat tyto dva filameny, jelikož by PLA (ABS) ztratil svoji pevnost a flexibilní materiál svoji pružnost.

V tomto případě byly směřovány filameny PLA o průměru 1,75mm při teplotách extruderu od 200°C-215°C.

12.1 Směřování s hlavou XCR 3D

Tato hlava byla vybrána z důvodu, že do tepelného bloku jdou oba filameny spolu. Znamená to tedy, že se potkávají ještě před tavením a taví se současně. Je zde tedy teoretický předpoklad, že by použití tohoto provedení by mohlo vést k lepšímu smíchání jednotlivých barev.

Hlava XCR 3D je ale primárně určena na dvojbarevný tisk, kdy se tiskne dvěma barvami, ale ne současně. Není tedy určena k současnému tisku dvěma barvami, proto u ní dochází k následujícím problémům.

Zavedení filamentů bylo možné pouze ručně, a to po demontáži tepelného bloku. Další podmínka pro spolehlivý posuv a následné směšování byla neměnný poměr 50/50. Po změně poměru „ve prospěch“ jednoho z filamentu se posuv a směšování stalo nespolehlivým.

Po změně poměru, kdy jeden filament měl dominantní převahu, se druhý filament díky vyšším pasivním odporům již nedokázal protlačit do tepelného bloku. To bylo zapříčiněno z důvodu, že průměr vstupu do tiskové hlavy činí 4mm a součet průměrů dvou standartních filamentů je $3,5\text{mm} \pm 0,1\text{mm}$. Tedy součet průměrů filamentů, včetně součtu obou horních hranic tolerancí je velmi blízko jmenovitému průměru vstupu do tepelného bloku. Společně s napružením filamentu se vymezí i vůle mezi filameny a toto je pravděpodobně primární příčinou vzniku vyššího pasivního odporu u jednoho z filamentů a tím se jeho posuv stává nespolehlivý (viz. Obr. č. 41).

Při nerovném poměru, filament s minoritním procentem ve směšování nebyl sunut dostatečně rychle, (jeho pasivní odpor byl větší) a byl tak na vstupu do tepelného bloku „přibrzdován“.

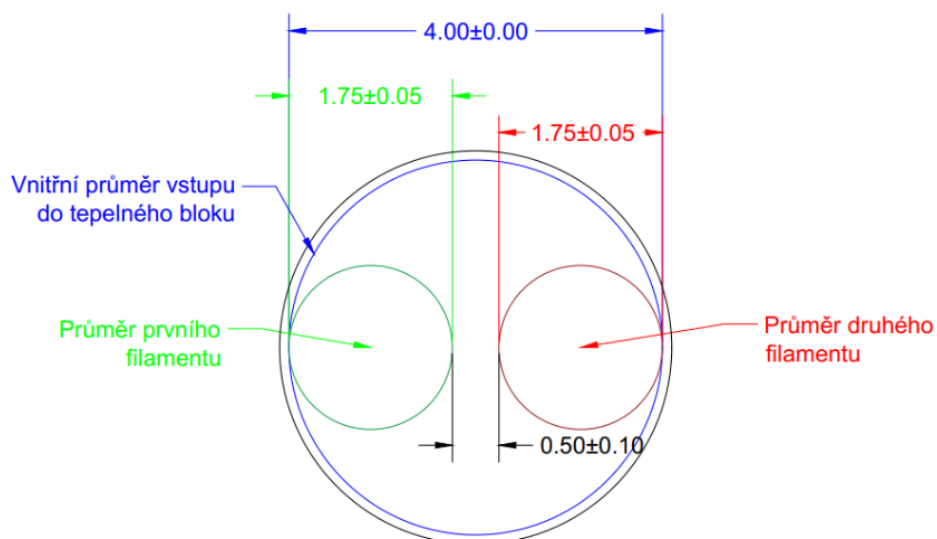
Docházelo také ještě k dalším problémům:

Pokud byl nastaven poměr 50/50, jeden filament přitlačil ke stěně vstupu filament druhý, a tyto se posouvaly současně stejnou rychlostí, dvoubarevný tisk se jevil jako funkční. Ale v nerovném poměru byla síla posuvu od pohonu filamentu nedostatečná. Z tohoto důvodu nebyl majoritní filament přitlačen minoritním filamentem ke stěně (vymezil si prostor svým odpružením), aby se tak vytvořil prostor pro minoritní filament. Z tohoto důvodu minoritní filament, i když bylo pro něj nastaven větší procento poměru, nebyl schopen se posunout do tepelného bloku.

Problém nastával také při ochlazování tiskové hlavy. Po ochlazení došlo ke spečení dvou filamentů v místě na před vstupu do tepelného bloku. Z tohoto důvodu nebylo možné dané filameny vytáhnout ven, a to i poté, co byl tepelný blok zahřát na 215°C (viz. Obr. č. 42). Bylo nutné provést demontáž tepelného bloku a spečené filameny odštípnout.

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

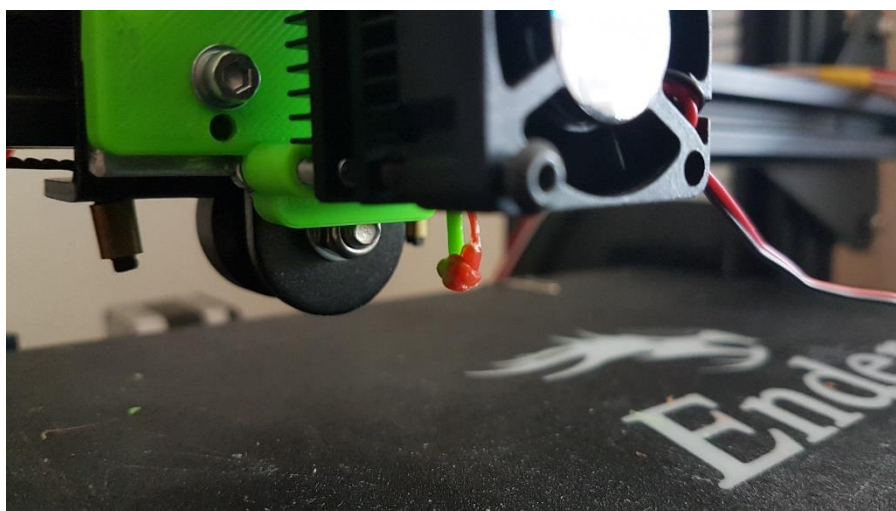
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK



VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

Obr. č. 41: Průměry vstupu do tepelného bloku a filamentů



Obr. č. 42: Spečené filamenty v tiskové hlavě XCR 3D

Z výše uvedených důvodů je znatelné, že tato hlava je naprosto nevyhovující pro tento účel a pozornost byla zaměřena na druhou tiskovou hlavu typu cyclop.

12.2 Směšování s hlavou J-HEAD CR8/CR10

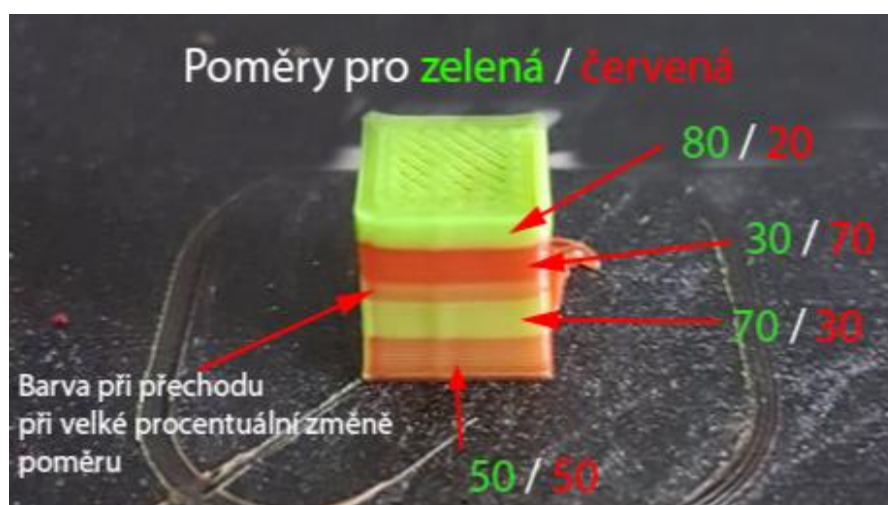
Jelikož je tato hlava konstrukčně řešena tak, že se filamenty se sbíhají až v tepelném bloku, opadají problémy popsané v kapitole 12.1.

Touto hlavou lze dosahovat slušných výsledků smíchání barev. Zkouškami bylo zjištěno, že kvalita promíchání je závislá na teplotě. Ideální teplota pro smíchání je $215^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Při zkoušce 200°C směšování nebylo ideální viz. Obr. č. 44. Teplota podložky byla vždy 50°C .

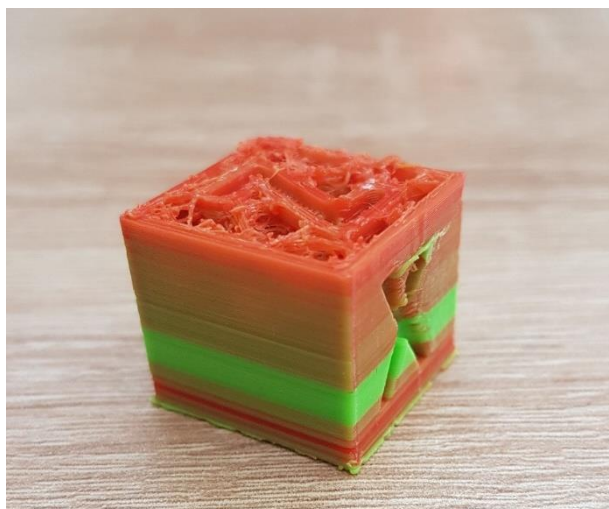
Na Obr. č. 43 je možné vidět vytisknutou krychli o rozměrech $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ při teplotě 200°C . Jsou na ní patrné změny směšovacího poměru, který byl měněn v průběhu tisku. Na zkušebním vzorku je patrné, že i při velké procentuální změně poměru směšování, nedochází ke skokové změně spektra barev, ale k jejich postupnému měnění.

Tento jev bohužel nelze odstranit, je nedílnou součástí procesu. Z tepleného bloku se musí nejdříve postupně vytlačit barevné složení starého poměru a až teprve poté nastupuje barevné složení poměru nového.

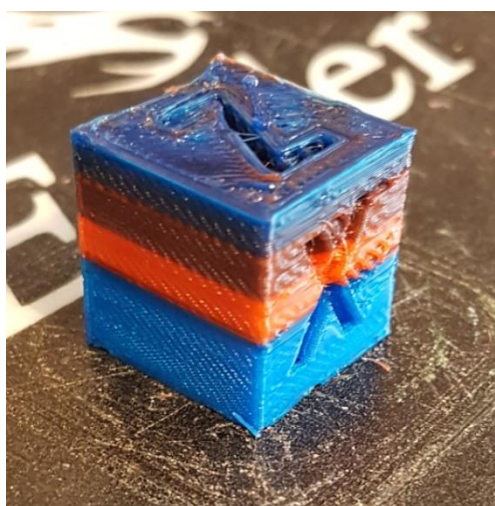
Tyto přechody jsou zřejmě u všech změn poměrů. Při nastavení menších změn v poměrech, ale nejsou přechody tak patrné.



Obr. č. 43: Vytisknutá kostka $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ s různými poměry filamentů



Obr. č. 44: Výtisk s různými poměry vstupních filamentů při 200°C



Obr. č. 45: Výtisk s různými poměry vstupních filamentů při 215°C

13 ZKOMPLETOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

Funkce celého zařízení byla nedříve odzkoušena s plnou funkcí, a to včetně FW.

Testované drivery, kromě typu primárního TMC2208, byl testován i typ A4988, který byl otestován úspěšně. Dále byl testován typ DRV8825. Tento typ driveru byl testován i na zkušebním nepájivém poli, v zapojení určeném speciálně pro DRV8825 Driver svoji funkčnost, pro tuto aplikaci neprokázal.

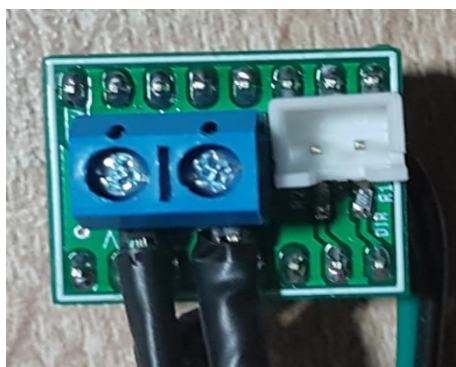
Dále byla sestavena a otestována funkčnost navrženého úchytu tiskové hlavy včetně chlazení.

Úchyty motorů posuvů filamentů byly v tomto návrhu řešeny co nejjednodušeji. Uchycení je provedeno pomocí vytištěných PLA držáků s jejich upevněním na horním příčném rámu nosné konstrukce pohonů tiskárny. Způsob řešení uchycení nemá vliv na hlavní úkol této práce.

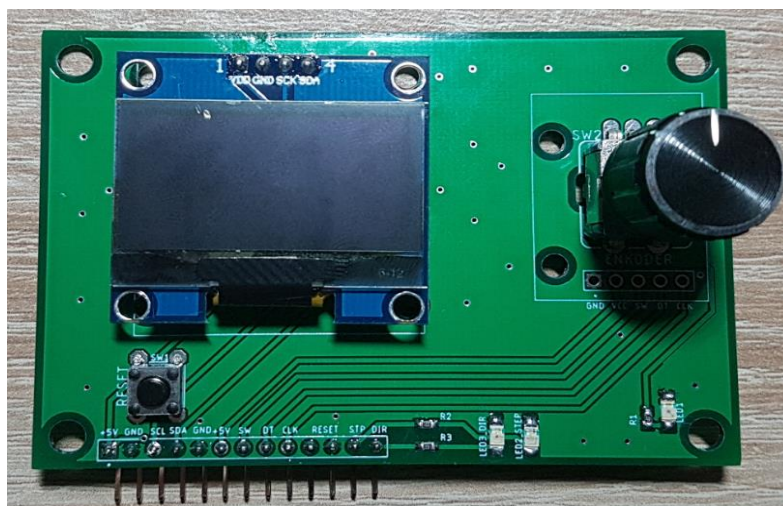
DPS z kapitol 7.2.1 a 7.2.2 byly osazeny do navrhnuté a vytištěné skříňky.



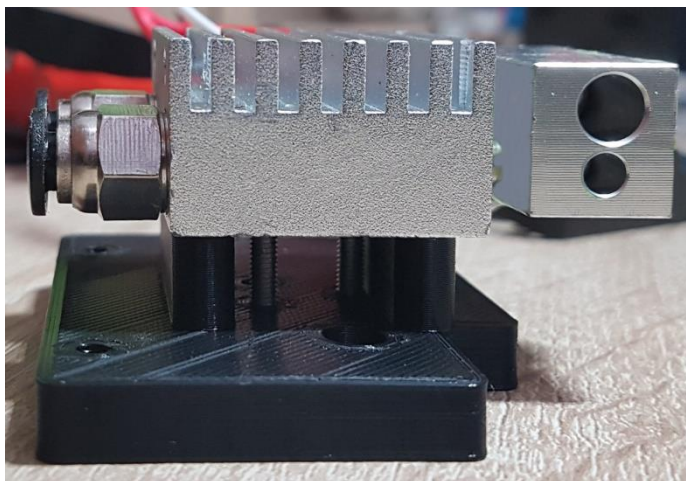
Obr. č. 46: Osazená DPS pro směšování filamentu



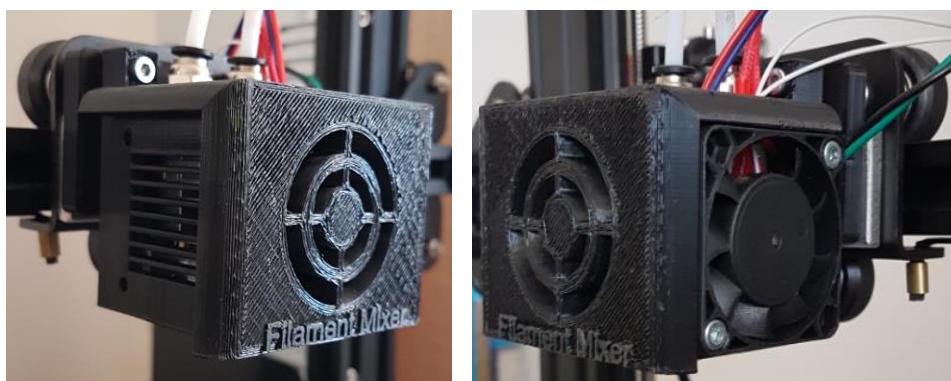
Obr. č. 47: Osazená DPS pro 3D



Obr. č. 48: Osazená DPS pro zobrazovací a ovládací prvky



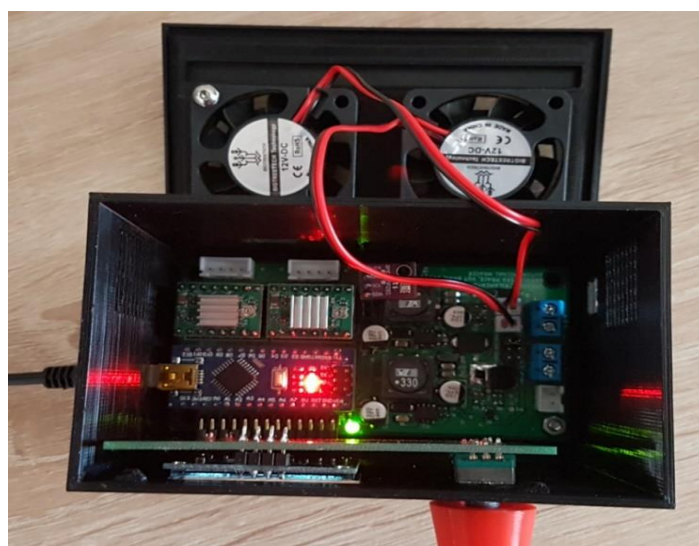
Obr. č. 49: Tisková hlava osazená na podložce



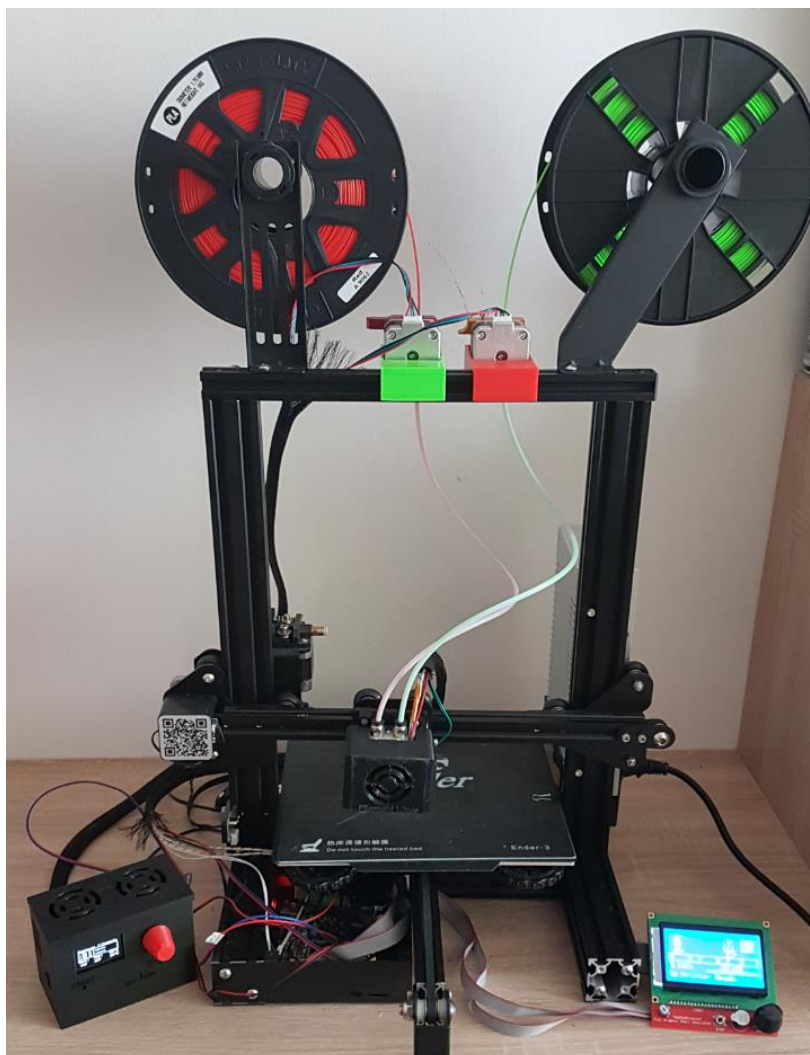
Obr. č. 50: Pohled na zkompletované uchycení hlavy a její chlazení



Obr. č. 51: Zkompletované zařízení pro směšování



Obr. č. 52: Pohled na vnitřní uspořádání elektroniky pro směšovač filamentu



Obr. č. 53: Pohled na kompletní zařízení

14 ROZPOČET

Celková cena projektu činí přes 3 400 Kč. Není zde ovšem započítána doprava z JLCPCB, odkud byly brány DPS, doprava kterou si účtuje např. Farnell nebo TME nebo poštovné z čínských e-shopů či celní poplatky. Samozřejmě zde není započítána pořizovací cena 3D tiskárny.

Cena součástek je také počítána pouze s počtem součástek použitých, které byly reálně osazeny, nikoliv jejich skutečně zakoupený počet zejména kvůli minimálnímu množství pro odběr nebo celkovému počtu dodávek DPS v jedné objednávce. Některé komponenty jako např. drivery, tiskové hlavy nebo motory a podavače filamentu tvoří značnou část rozpočtu. Celková cena úpravy s jednou „dvoubarevnou“ tiskovou hlavou, jedním typem motorových driverů je tedy zhruba 2 500 Kč a jeví se jako přijatelná.

Přijatelnost kalkulace vychází se z předpokladu a cen jednotlivých příslušenství, kdy např. nová řídicí deska či display k 3D tiskárně má cenu od 600-1500Kč.

Pokud by tento výrobek měl být zařazen mezi nabízené zboží, musí být v ceně ještě kalkulována i práce, a k prodejní ceně samozřejmě DPH plus obchodní přírážka prodejce. Konečná cena v obchodech by tedy mohla dosáhnout i ceny přes 3 000 - 4 000Kč. Záleželo by v jaké sestavě by daný výrobek byl prodáván (s motory, s podavači nebo bez nich).

Sice se tato cena může zdát vyšší, oproti standartnímu příslušenství pro 3D tiskárny, je ale potřeba brát v potaz, že tyto ceny jsou cenami, které snižuje zejména sériová výroba, kdy se jednotlivé komponenty a součástky nakupují za znatelně nižší ceny.

Tab. č. 4: Ceny jednotlivých komponent

Název	Počet	Cena za počet ks(Kč)
BMP280	1	20,00
100uF/35V	2	26,90
100uF/35V	1	17,70
10nF	2	10,04
100uF/25V	1	12,50
220uF/16V	1	10,40
220uF/25V	1	18,64
100nF	4	7,32
10nF	3	2,73
100nF	4	8,64
1N4007	2	7,36
Schottkyho dioda	2	18,96
Dioda ES3D	2	14,40
TPS5410D	2	145,30
Svorkovnice	3	12,90
Cívka 68uH	1	83,54
Cívka 33uH	1	77,78
Arduino Nano	1	55,00
Motorové drivery TMC 2208	2	294,00
Motorové drivery A4988	2	60,00
Motorové drivery DRV8825	2	46
Hřebínky a dutinky 2,54mm	1	20,00
Tranzistor Q1	1	5,07
Tranzistor Q2	1	9,37
Tranzistor Q3	1	14,00
330R	4	0,52
1,13K	1	1,22

Tab. č. 5: Ceny jednotlivých komponent - pokračování

Název	Počet	Cena za počet ks(Kč)
100R	1	1,23
3,24K	1	0,50
0R	4	0,60
10K	8	1,36
1K	3	3,60
47K	4	0,96
LED Zelená	2	6,52
LED Červená	1	3,26
LED Modrá	1	5,74
Tlačítko	1	1,00
Konektory pro kabely impulzů	2	3,40
Konektory pro ventilátory	2	4,00
OLED	1	59,00
DPS-Směšování	1	20,00
DPS-Výstupy a vstupy	1	20,00
DPS-Výstupy z 3D tiskárny	1	10,00
Krabička (3D tisk)	1	54,00
Chlazení tiskové hlavy (3D tisk)	1	60,00
Podložka pod tiskovou hlavu (3D tisk)	1	8,00
Tisková hlava CR8/CR10	1	499,00
Tisková hlava XCR 3D	1	613,00
Krokový motor 17HS4401	2	538,00
Extruder MK8, podavač filamentu	2	358,00
Cena celkem (Kč)		3434,46

15 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit zařízení, které umožňuje míchat dva filameny různých barev s možností měnit jejich poměr během tisku. V teoretické části byly popsány nepoužívanější druhy filamentů a nejčastější možnosti 3D tisku.

Významná část teorie se zabývá extruderem, jehož pochopení je důležité pro tuto bakalářskou práci. Je zde vysvětleno nejenom, co je to extruder, ale jsou popsány i jeho části, ze kterých se skládá. Následuje výčet možností, kterými by se dalo řešit měnění poměrů pro jednotlivé filameny. Jsou dva, a to mechanické a elektronické řízení poměrů.

Byl vybrán elektronický způsob, a to zejména z důvodu, že měnění poměrů pomocí napsaného kódu a elektronického rozdělení impulzů do jednotlivých motorů je spolehlivější a přesnější, a také odpadá problémy s nedostatečným, s příliš velkým třením klínového řemene, s odpojením jednoho motoru v případě tisku pouze jednou barvou. Odpadá i problém s napnutím klínového řemene u mechanického směřování, kde by hlavní roli hrála variátorová převodovka a poměr směšování by určoval správné

napnutí klínového řemene.

V kapitole 5 je popsáno řízení krokových motorů pomocí komerčně dostupných driverů a jejich ovládání pomocí H – můstku. Poté následuje výčet nejpoužívanějších driverů pro krokové motory, z nichž primárně byl pro testování vybrán a použit TMC2208. Vybrán byl nejen z důvodu jeho nízké hlučnosti, ale i proto, že tento typ driveru byl použit v tiskárně Creality Ender 3, na které byla tato bakalářská práce testována. Pro tento typ byl tedy předpoklad, že bude funkčně spolehlivý. Navržená DPS podporuje možnost použití a osazení více typů driverů.

Na konci teorie se nachází seznam použitých komponentů pro tuto bakalářskou práci a jejich stručný popis.

Poté již následuje praktická část, která začíná samotným návrhem schéma zapojení, které je navrženo pro použití více typů motorových driverů, popisem autoselectoru, při volbě různého napájecího napětí a také popisem jednotlivých navržených DPS. Následuje vyčíslení proudové spotřeby zařízení, která dosahuje 290mA, popis nejdůležitějšího prvku v napěťové části DPS, a to napěťového regulátoru TPS5410D. Tento typ byl použit pro snížení napájecího napětí na 12V a z 12V na 5V. Z důvodu, že výstupní napětí TPS5410D je nezávislé na napětí vstupním a závisí pouze na odporovém děliči ve zpětné vazbě, může toto zařízení být napájeno i jiným napětím než 24V a 12V. Velikost vstupního napětí limitují filtrační elektrolytické kondenzátory, které mají maximální pracovní napětí. Dalším limitem je 36V, což je maximální vstupní napětí pro TPS5410D, maximální vstupní napětí pro motorové drivery v části pro napájení krokových motorů a maximální napájení ventilátorů ve 24V větvi, kdy se musí dávat pozor na maximální napětí pro tyto ventilátory.

V následujících dvou kapitolách (8 a 9) lze nalézt popis mechanické části práce. Zabývá se zejména návrhem uchycení tiskové hlavy, jejího chlazení a skříňky. Veškeré mechanické návrhy probíhaly v programu Fusion360 od firmy Autodesk. Skříňka byla navržena pro volné uložení vedle tiskárny nebo, po vyvrtání příslušných otvorů, pro její pevné uchycení na jejím rámu. Zařízení je možno chladit až dvěma ventilátory o rozměrech 40x40x10mm nebo 30x30x10mm. Skříňku lze navrhnout i s menší výškou a umístit ji tak do horní části 3D tiskárny, např.: na hliníkový rám. Uchycení motorů bylo provedeno na horní příčce rámu tiskárny. Byl řešen i způsob uchycení tiskové hlavy tak, aby vyhovoval stávajícímu mechanickému provedení pojezdu osy „X“. Chlazení hlavy je pak navrženo na standardní šířku 30mm, které mají hlavy typu Cyclop, takže je možnost užití na větší počet hlav tohoto typu.

Vytvořený FW, program, obsahuje několik funkcí a stavových automatů, které byly použity pro přesuny mezi položkami menu. Dále obsahuje dvě externí přerušení pro STEP a DIR pulzy z 3D tiskárny a dva časovače. Jeden pro rotaci enkodéru, druhý pro tlačítko enkodéru.

FW v tomto zařízení je navržen obdobně jako je FW Marlin, používán v řadě 3D tiskáren. Jedná se o hlavní obrazovku s podstatnými údaji (směšovací poměr, informace o stavu ventilátorů a motorů, aktuální teplotu a teplotu, kdy sepnou automaticky ventilátory). Po stisku tlačítka enkodéru se spustí samotné menu. Toto menu obsahuje položky pro stálé zapnutí ventilátoru, pro vypnutí nebo zapnutí motorů, nastavení teploty pro spínání ventilátoru a aktuální verzi FW.

Samotné směšování bylo testováno celkem na dvou různých hlavách.

První testovaná tisková hlava má dva vstupy, jeden výstup a filamenty se „sbíhaly“ již před tepelným blokem, kde se taví. To mělo za následek to, že při poměrech které nebyly stejné, docházelo k vytlačení jednoho filamentu druhým. Filament s menším poměrem se již nemohl dostat do tepelného bloku. Dalším problémem bylo spečení obou filamentů dohromady a následně nemožné roztavení spečených filamentů. To znemožňovalo jejich zpětné vysunutí (vyjmutí) z tiskové hlavy.

Druhá testovaná tisková hlava má také dva vstupy a jeden výstup. U tohoto typu hlavy se ovšem filamenty „sbíhaly“, až v tepelném bloku, kde se tavily a vlivem tlaku se míchaly dohromady. Odpadly tak veškeré problémy první testované hlavy. Výsledek směšování není tak ideální, jak se očekávalo. To je způsobené dvěma faktory. První nepříznivý faktor je velká hustota roztaveného filamentu a tím jeho horším promícháním. Druhý faktor je malý prostor uvnitř hlavy kde k dochází k promíchání obou roztavených filamentů a tím i krátký čas k jejich mísení.

Nicméně lepších výsledků je možno dosáhnout větší teplotou a ideální teplota je $215^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Předpokladem správného směšování jsou také kompatibilní materiály obou vstupujících filamentů. Ideálně musí být ze stejného materiálu (PLA, ABS, ...) z důvodu různých teplot jejich tavení v extruderu a teploty tiskové podložky. Přestože některé teploty flexibilních (TPE, PETG) jsou svými teplotami podobné materiálům pevným (PLA, ABS) ztrácí smysl míchání těchto materiálů, jelikož by pevné materiály ztratily svoji pevnost a flexibilní materiály by nebyly tak pružné.

Byly testovány celkem tři typy nejpoužívanějších driverů. Primárním driverem byl typ TMC2208, který fungoval bez problémů. Jako funkční se jevil i testovaný typ A4988.

Driver typu DRV8825 se nepovedlo i přes veškerou snahu zprovoznit. I když bylo pro něj sestaveno i speciální zapojení, driver krokový motor nerozpohyboval.

Celková pořizovací cena komponentů projektu, pro jedno upravené zařízení, dosáhla cca 3 500 Kč. Jelikož se jedná o prototyp a jediný funkční kus, je tato cena, vzhledem k cenám, které mají ostatní příslušenství k 3D tiskárnám, přijatelná. Pokud by zařízení bylo používáno (upravováno) sériově, lze předpokládat, že výsledná cena dalších kusů bude nižší.

Možností vylepšení směšovače filamentu spadá hlavně na rozšíření počtu vstupujících filamentů. Toto řešení není tak jednoduché z důvodu, že 100% musí být rozděleno mezi 3 a více vstupních materiálů. Nejspíše by se volily tyto poměry postupně s tím, že poslední poměr by se dopočítával jako rozdíl poměrů již nastavených od 100%. Dále je zde otázka, jestli by se více filamentů dokázalo dostatečně promíchat. Z výše uvedeného je patrné, že důkladné promíchání je problém již u dvou filamentů. Pro směšování více barev filamentů by bylo nutné vytipovat nebo navrhnout, a každopádně otestovat speciální tiskovou hlavu.

LITERATURA

- [1] 3D tisk [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
- [2] Filament. Svět Hardware [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>
- [3] FFM/FDM. Materialpro3D [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/3d-tisk-v-kostce/>
- [4] The FDM printing process. 3Dhubs [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>
- [5] I3 MK3S. Shop.prusa3d [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.html>
- [6] 3D tisk Praha [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk-praha.eu/clanek-co-je-to-filament.html>
- [7] Přehled materiálů pro 3D tisk, MK shop [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://mk-eshop.cz/blog/post/8-prehled-materialu-pro-3d-tisk#ABS>
- [8] Přehled dostupných materiálů. Na3D [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/prehled-dostupnych-materialu>
- [9] ABS Filament. DDDrop [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://www.dddop.com/filaments/abs-filament/>
- [10] PLA vs ABS: What's the difference? Themicro3d [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://themicro3d.com/pla-vs-abs/>
- [11] 2019 PLA Filament Guide – All You Need to Know. ALL 3D [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/pla-filament-3d-printing/>
- [12] 2019 PLA Filament Guide – All You Need to Know (Beer.jpg). ALL 3D [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2016/07/27052712/Beer.jpg>
- [13] PET Filament: Waterproof and Food-Safe Material Plastic for 3D Printing. All that 3D [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://www.allthat3d.com/pet-filament/>
- [14] PET vs PETg Filament – What's the Difference? Filamentive [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://www.filamentive.com/pet-vs-petg-filament-whats-the-difference/>
- [15] 3D tisk: jak funguje a kde začít? Svět Hardware [online]. [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-a-kde-zacit/48403-3>,
- [16] Anatomy of a 3D Printer: How Does a 3D Printer Work? Matter Hackers [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/articles/anatomy-of-a-3d-printer>
- [17] 3D Printing Processes – Material Extrusion (Part 2/8). Engineers Garage [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: https://www.engineersgarage.com/article_page/3d-printing-processes-material-extrusion-part-2-8/
- [18] 1.9.2.2. Krokové motor. , doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc. Elektrické stroje, 2016. s. 92 [cit. 2019-10-05].
- [19] What is Stepper Motor and How it Works? Circuit Digest [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/tutorial/what-is-stepper-motor-and-how-it-works>

- [20] 3D Printer Anatomy. 3D Printer Power [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://3dprinterpower.com/3d-printer-anatomy/>
- [21] Extruder Drive Gear Shootout. Instruct Ables [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Extruder-Drive-Gear-Shootout/>
- [22] Termočlánek typu K 800C M6 2m. Postav Robota [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.postavrobota.cz/Termoclanek-typu-K-800C-M6-2m-d553.htm>
- [23] Heater Block Material: A Better Understanding of the Pro Series Hotend Design. Dyze Design [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://dyzedesign.com/2018/10/heater-block-material-understanding-pro-series-hotend-design/>
- [24] Rekrystalizace. Body Cote [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.bodycote.com/cs/sluzby/tepelne-zpracovani/zihani-normalizacni-zihani/rekrystalizace/>
- [25] 3D Innovations Extruder Nozzle. Amazon [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.amazon.in/3D-Innovations-CHPSS507-2-Extruder-Compatible/dp/B01M012MXV>
- [26] Direct, Bowden. Svět Hardware [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2>
- [27] Design of single acting pulley actuator (SAPA) continuously variable transmission (CVT). Semantic Scholar [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: [https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-single-acting-pulley-actuator-\(SAPA\)-Cholis-Ariyono/c78b8be0facfbe5780e89b99Da13e21b84d4af2a3/figure/0](https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-single-acting-pulley-actuator-(SAPA)-Cholis-Ariyono/c78b8be0facfbe5780e89b99Da13e21b84d4af2a3/figure/0)
- [28] Stepper motor driver – explanation. PO Scope [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://blog.poscope.com/stepper-motor-driver/>
- [29] TMC2208-LA. Trinamic [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.trinamic.com/products/integrated-circuits/details/tmc2208-la/>
- [30] A4988 Datasheet. Allegro Micro [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.allegromicro.com/en/Products/Motor-Drivers/Brush-DC-Motor-Drivers/A4988>
- [31] DRV8825 Stepper Motor Controller IC datasheet (Rev. F). Texas Instruments [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- [32] STSPIN820. STMicroelectronics [online]. [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stspin820.pdf>
- [33] Motion King [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: http://www.motionking.com/download/HB_Stepper_Motor_E.pdf
- [34] GrabCad [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/discrete-smd-1>
- [35] CDRH127-470M. GrabCad [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/cdrh127-470m-1>
- [36] Connectors TH. GrabCad [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/connectors-th-1>
- [37] JST PH2.0 B2B-PH-K-S. GrabCad [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/jst-ph2-0-b2b-ph-k-s-1>

- [38] JST XH 4 pin connector. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/jst-xh-4-pin-connector-1>
- [39] JST B2B-XH-A Through-hole. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/jst-b2b-xh-a-through-hole-shrouded-header-top-entry-type-1>
- [40] TB5P-2P-5-10-7.6-10. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/tb5p-2p-5-10-7-6-10-1>
- [41] OLED Screen 1.3'. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/oled-screen-1-3-1>
- [42] EC11 Rotary Encoder with Switch. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/ec11-rotary-encoder-with-switch-1>
- [43] Mini Pushbutton Switch. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/mini-pushbutton-switch-com-0009-1>
- [44] SMD 1206 Fuse Littelfuse. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/smd-1206-fuse-littelfuse-12061150thwr-1>
- [45] Arduino Nano V3. *Gallery.autodesk* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://gallery.autodesk.com/fusion360/projects/25248/arduino-nano-v3>
- [46] BMP280 module. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/bmp280-module-1>
- [47] TPS5410. Texas Instruments [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps5410.pdf>
- [48] TPS5410 Texas Instruments, s. 11 [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps5410.pdf>
- [49] WEBENCH® Power Designer Texas Instruments [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/design-resources/design-tools-simulation/webench-power-designer.html>
- [50] 40mm DC Fan. *GrabCad* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/40mm-dc-fan-1>
- [51] AttachInterrupt() [External Interrupts]. Arduino [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/>
- [52] Atmega328p Datasheet. Microchip, s.79 [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/> [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [53] U8glib Arduino. GitHub [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://github.com/olikraus/U8glib_Arduino

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Proces 3D tisku u FDM/FFF tiskáren [4]	2
Obr. č. 2: 3D tiskárna firmy Prusa Research [5].....	3
Obr. č. 3: Srovnání výrobku z PLA a ABS materiálu [10]	5
Obr. č. 4: Výrobek z PLA filamentu, kde jako příměs posloužil vedlejší produkt při vaření piva [12].....	5
Obr. č. 5: Schéma extruderu [17].....	6
Obr. č. 6: Krokový motor [19]	7
Obr. č. 7: Různé typy hnacích kol (Hobbed Gear) [21].....	8
Obr. č. 8: Idler Gear [16]	8
Obr. č. 9: Topné těleso [16]	9
Obr. č. 10: Termočlánek typu K800C M6 [22]	10
Obr. č. 11: Tepelný blok [20]	10
Obr. č. 12: Porovnání pevnosti tahu vůči teplotě u slitin hliníku [23].....	11
Obr. č. 13: Poškozené tepelné bloky [23]	12
Obr. č. 14: Ventilátor pro ochlazování filamentu [16]	12
Obr. č. 15: Trysky s různými průměry [25]	13
Obr. č. 16: Náčrt variátorové převodovky [27]	14
Obr. č. 17: Mikrokroky v hodnotách zleva 1/1, 1/2 a 1/8 [28]	16
Obr. č. 18: H-můstek složený ze čtyř N kanálových MOS tranzistorů	17
Obr. č. 19: Klon Arduino Nano V3.0	19
Obr. č. 20: Tisková hlava s Cyclop.....	20
Obr. č. 21: Tisková hlava XCR 3D.....	20
Obr. č. 22: Driver TMC2208	20
Obr. č. 23: BMP280	21
Obr. č. 24: Krokový motor 17HS4401	22
Obr. č. 25: Displej SSH1106	22
Obr. č. 26: Rotační enkodér	23
Obr. č. 27: Autoselector s MOS tranzistorem s P kanálem	25
Obr. č. 28: 3D model hlavní DPS pro směšování.....	26
Obr. č. 29: 3D model DPS pro uživatelské vstupy a výstupy.....	27
Obr. č. 30: 3D model DPS pro výstupy z 3D tiskárny.....	27
Obr. č. 31: Typické zapojení obvodu s TPS5410D [48].....	30

Obr. č. 32: Pohled na pojezdové ústrojí osy X u tiskárny Ender 3. Pohled zezadu (vpravo) a zepředu (vlevo)	31
Obr. č. 33: 3D model podložky pro tiskovou hlavu.....	32
Obr. č. 34: 3D model konstrukce pro chlazení hlavy	33
Obr. č. 35: 3D model zkompletovaného uchycení pro tiskovou hlavu (žlutá barva)	33
Obr. č. 36: 3D model navržené krabičky	35
Obr. č. 37: 3D model krytu pro rotační enkodér.....	35
Obr. č. 38: 3D model vrchního dílu krabičky-spodní pohled	36
Obr. č. 39: Zobrazení hlavních informací	42
Obr. č. 40: Ukázka menu	43
Obr. č. 41: Průměry vstupu do tepelného bloku a filamentů	45
Obr. č. 42: Spečené filamenty v tiskové hlavě XCR 3D	45
Obr. č. 43: Vytisknutá kostka 10x10x10mm s různými poměry filamentů.....	46
Obr. č. 44: Výtisk s různými poměry vstupních filamentů při 200°C	47
Obr. č. 45: Výtisk s různými poměry vstupních filamentů při 215°C	47
Obr. č. 46: Osazená DPS pro směšování filamentu	48
Obr. č. 47: Osazená DPS pro 3D tiskárnu	48
Obr. č. 48: Osazená DPS pro zobrazovací a ovládací prvky	49
Obr. č. 49: Tisková hlava osazená na podložce	49
Obr. č. 50: Pohled na zkompletované uchycení hlavy a její chlazení	49
Obr. č. 51: Zkompletované zařízení pro směšování filamentu	50
Obr. č. 52: Pohled na vnitřní uspořádání elektroniky pro směšovač filamentu.....	50
Obr. č. 53: Pohled na kompletní zařízení.....	51

SEZNAM TABULEK

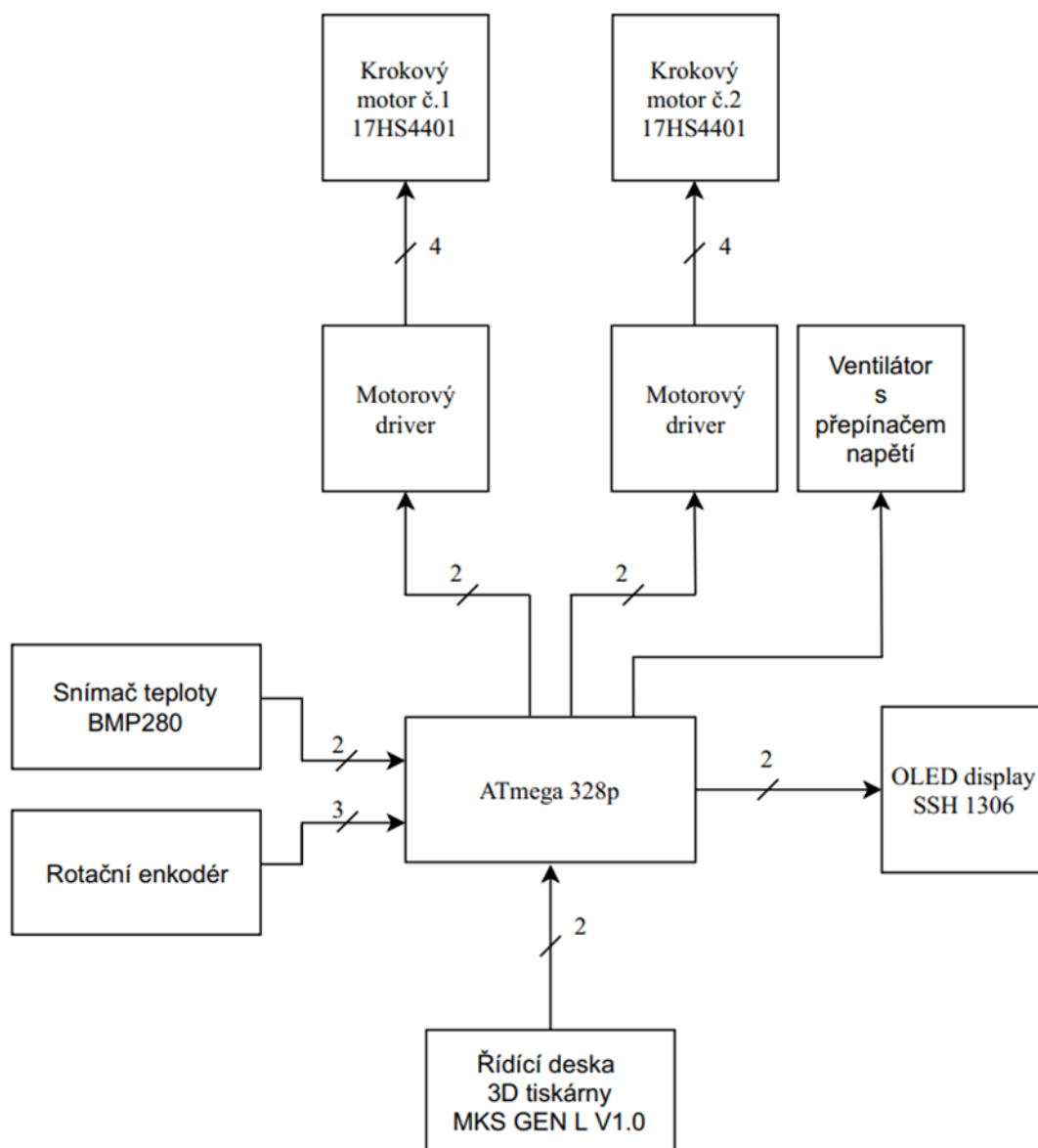
Tab. č. 1: Poměry složení hliníkové slitiny 6061 T6	11
Tab. č. 2: Spotřeba použitých zařízení.....	29
Tab. č. 3: Porovnání teplot jednotlivých materiálů.....	43
Tab. č. 4: Ceny jednotlivých komponent.....	52
Tab. č. 5: Ceny jednotlivých komponent - pokračování.....	53

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

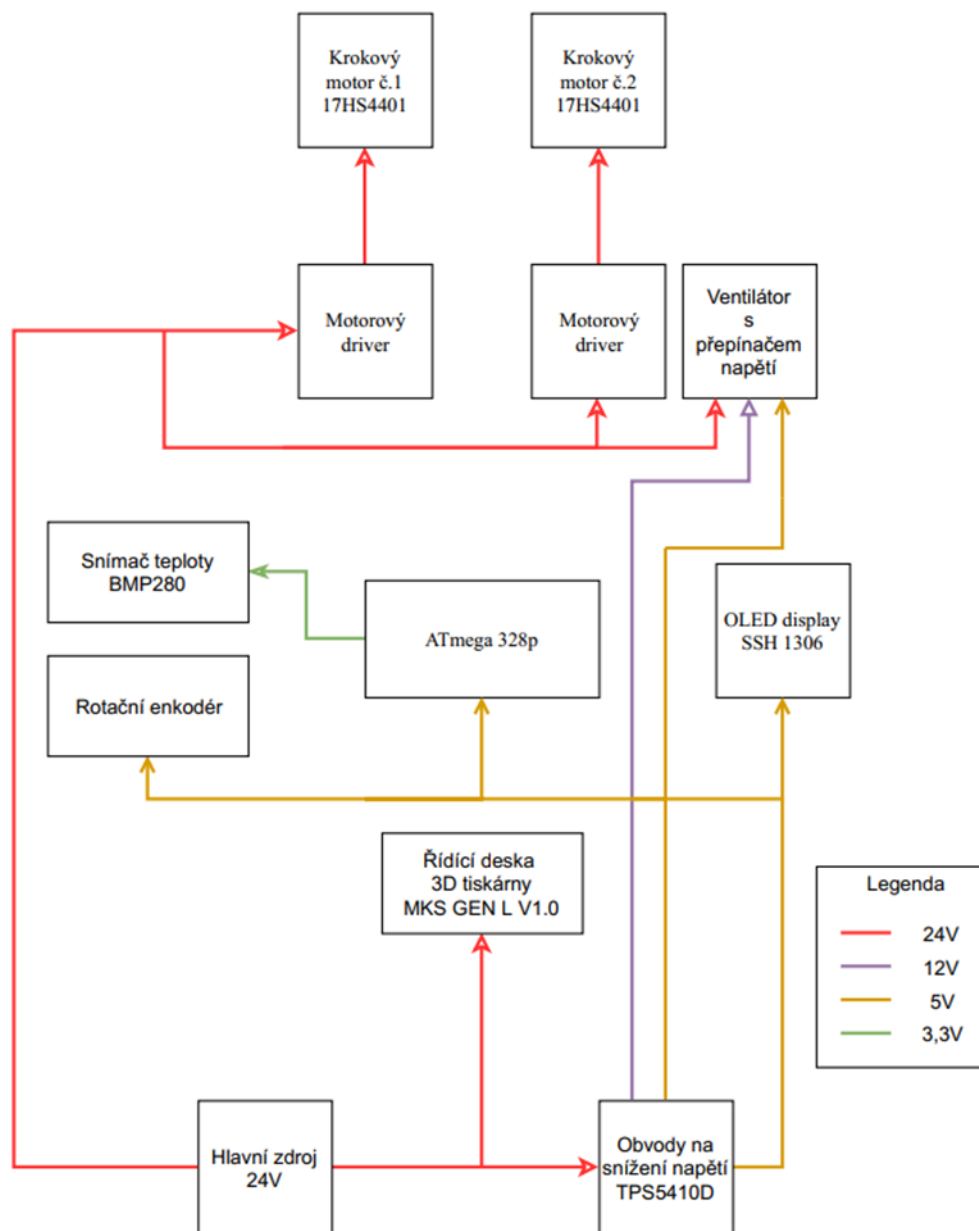
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA	Polylactic Acid (Kyselina mléčná)
PET	Polyetylen tereftalát
PET-G	Polyetylén tereftalát-glykol
TPE	Termoplastický elastomer
SLA	Stereolithography
DLP	Digital Light Processing
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
DPS	Deska plošných spojů
FW	Firmware
IO	Integrovaný obvod

SEZNAM PŘÍLOH

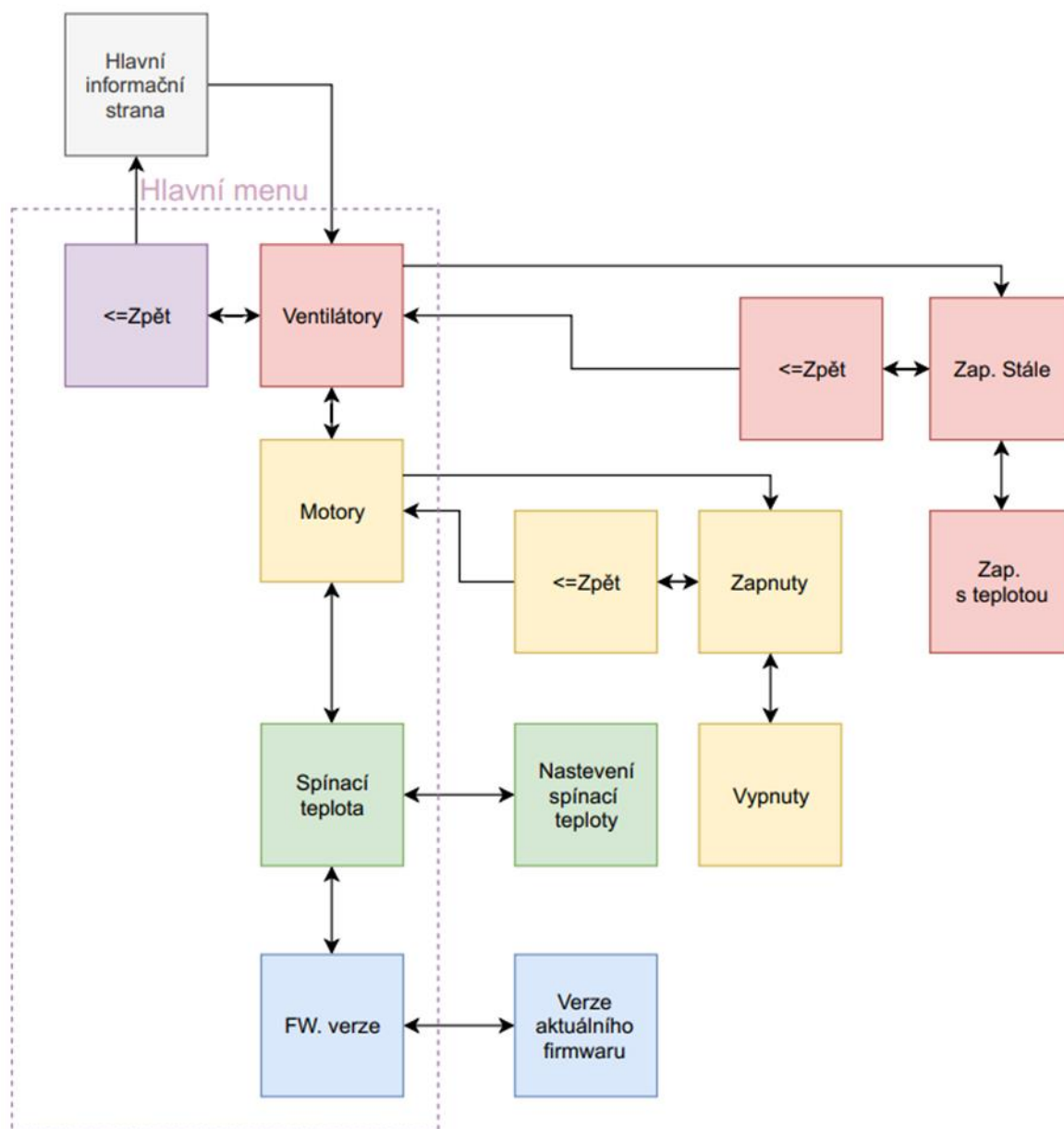
A BLOKOVÉ SCHÉMA SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ



B ELEKTRICKÉ BLOKOVÉ SCHÉMA SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

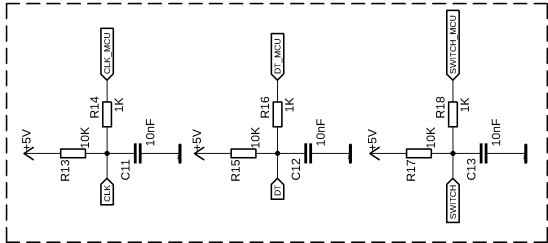


C BLOKOVÉ SCHÉMA MENU

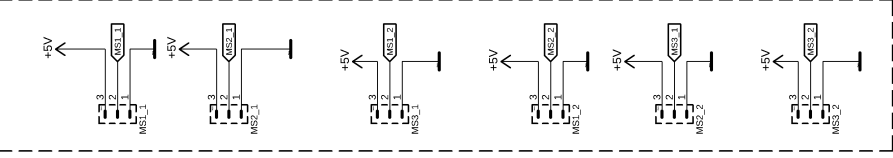


D SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS PRO SMĚŠOVÁNÍ 1/2

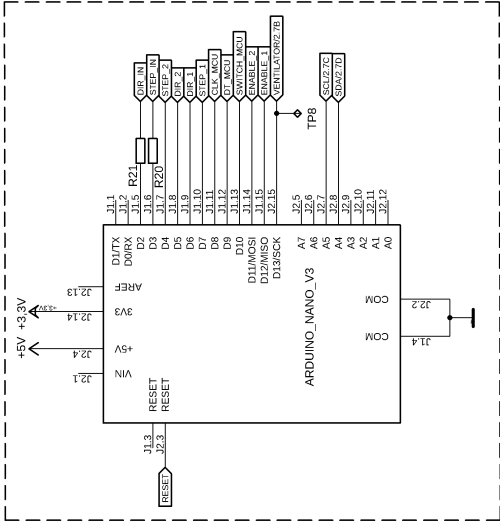
HW ošetření zámků pro rotační enkodér



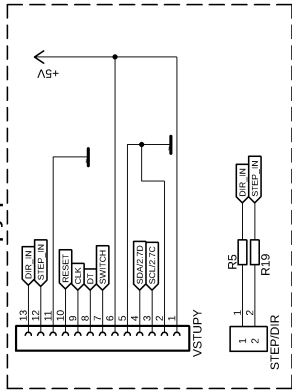
Vstupy pro motorové drivery



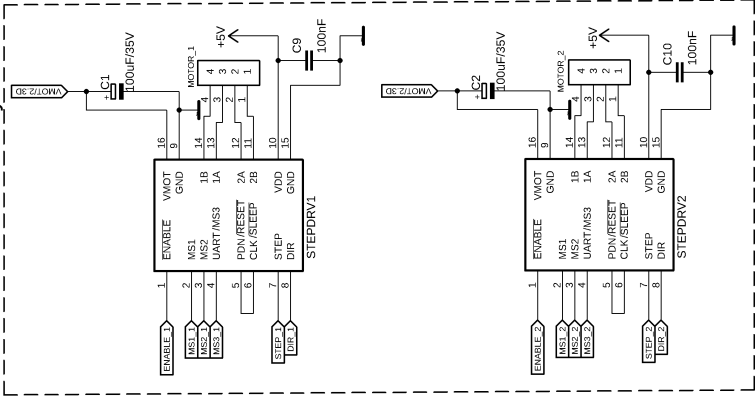
Arduino Nano V3



Vstupy pro zařízení

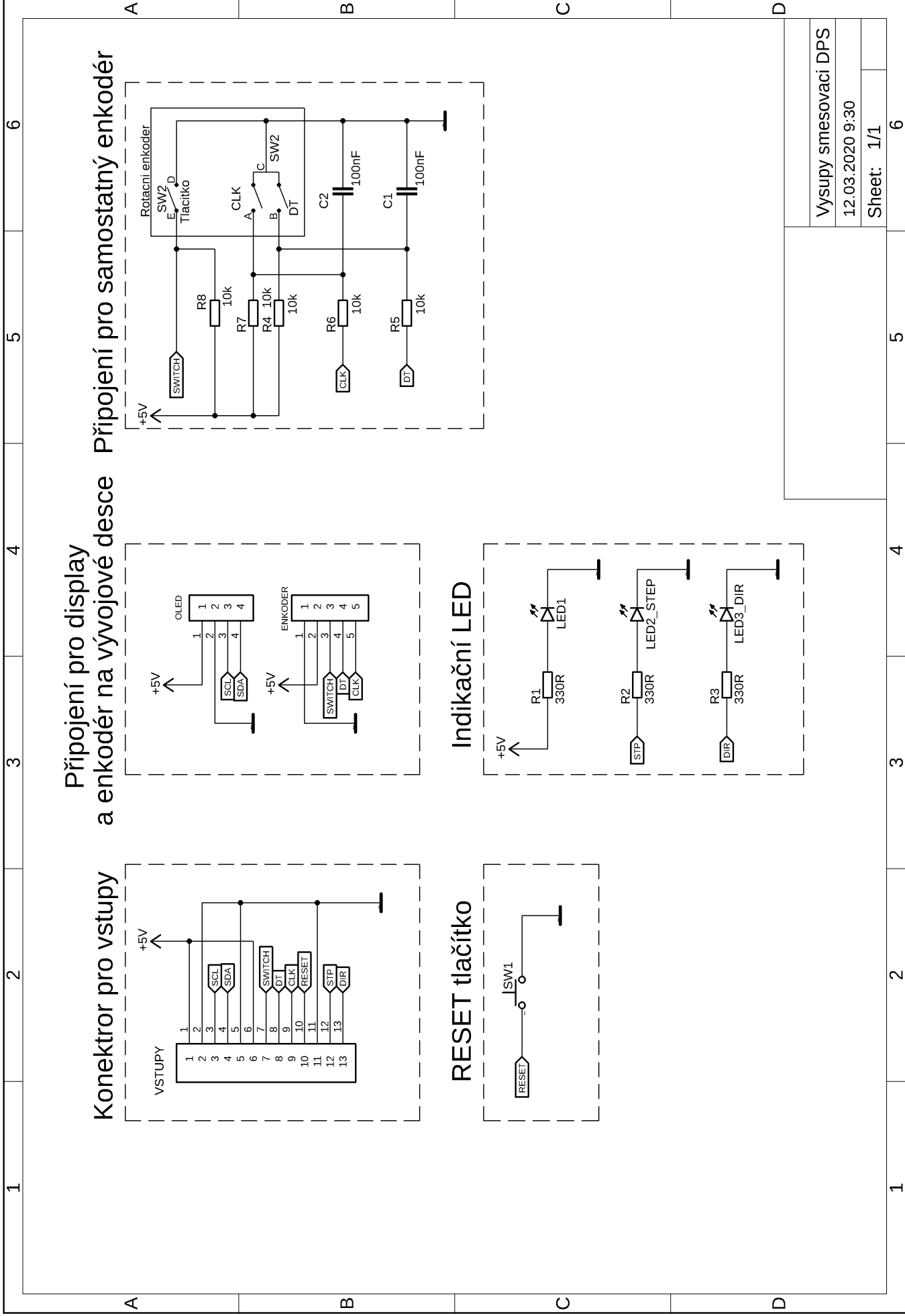


Motorové drivery

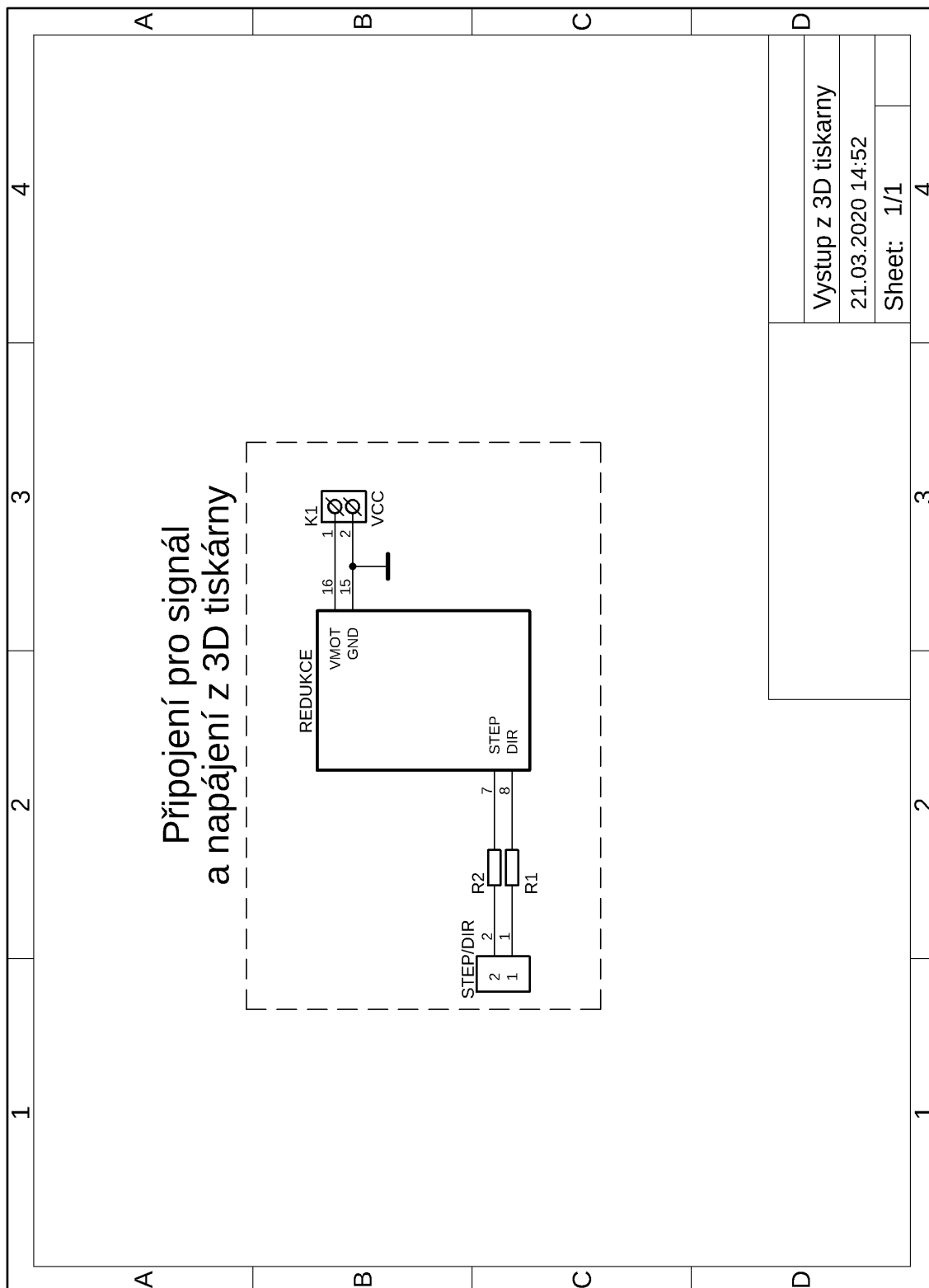


E SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS PRO SMĚŠOVÁNÍ 2/2

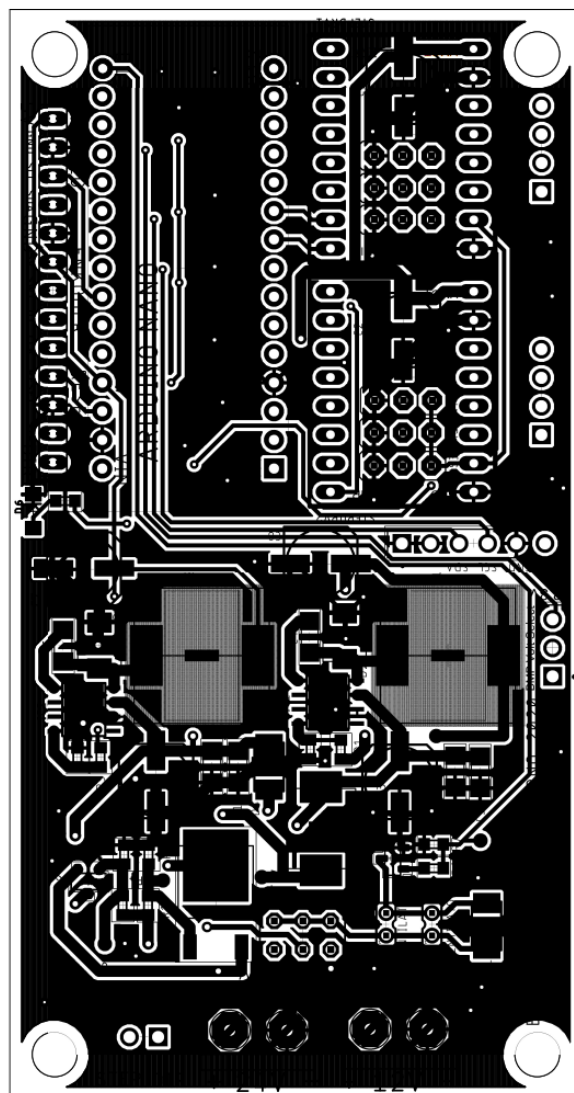
F SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS PRO VSTUPY A VÝSTUPY



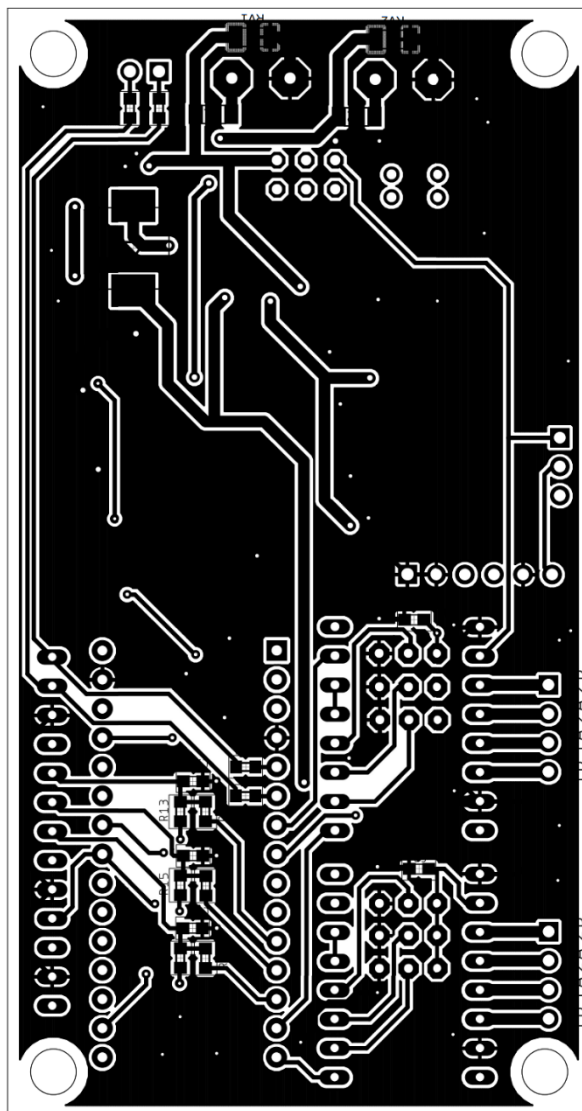
G SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO VÝSTUPY Z 3D TISKÁRNY



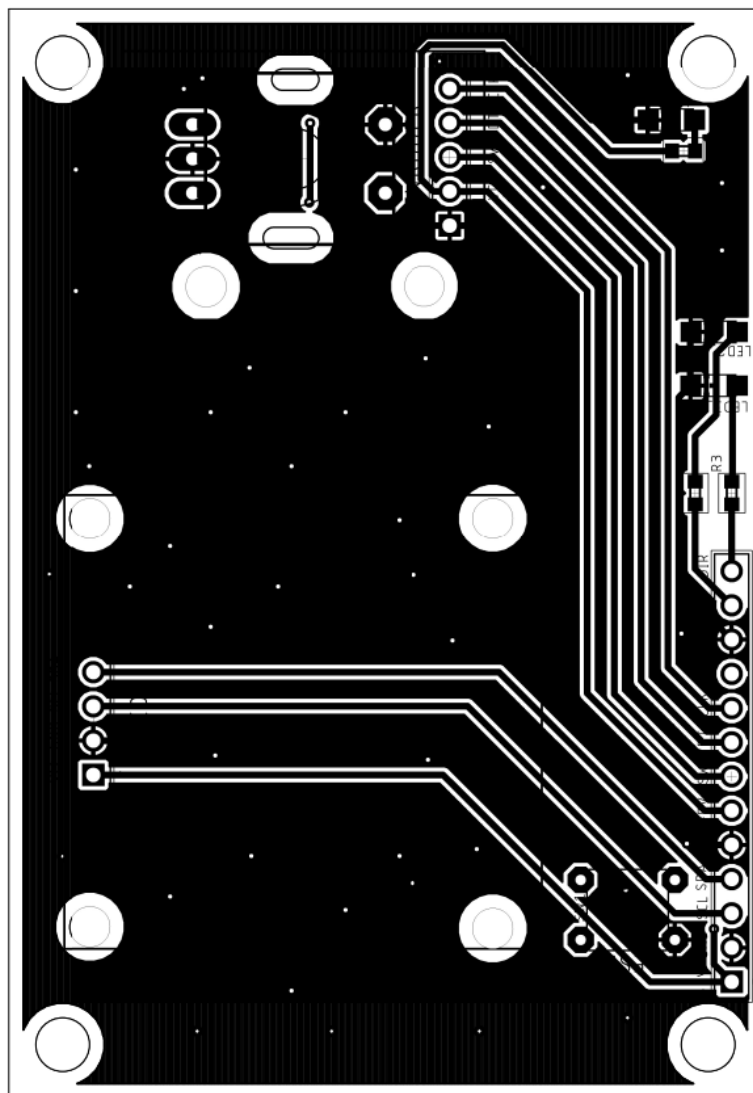
H DPS ZAPOJENÍ PRO SMĚŠOVÁNÍ (TOP, MĚŘÍTKO 2:1)



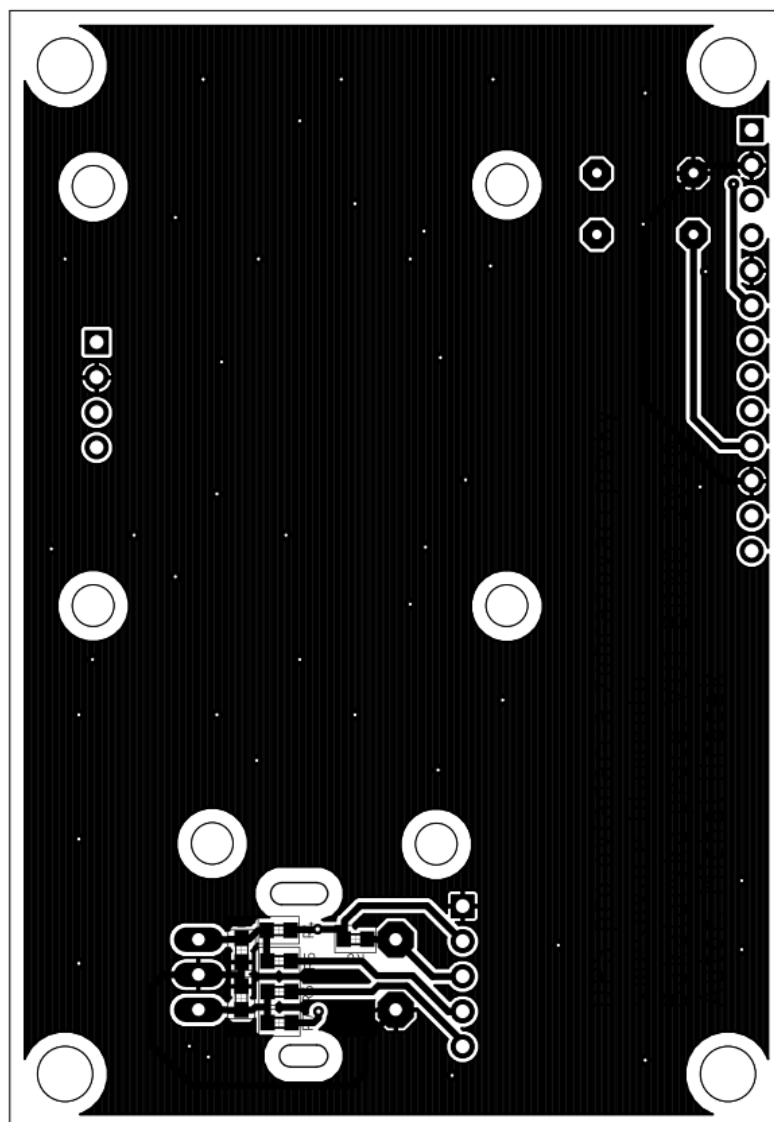
I DPS ZAPOJENÍ PRO SMĚŠOVÁNÍ (BOTTOM, MĚŘÍTKO 2:1)



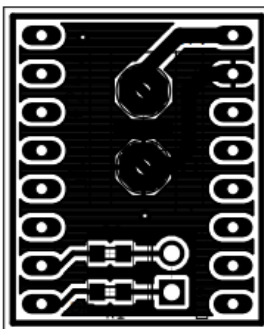
J DPS ZAPOJENÍ PRO VSTUPY A VÝSTUPY (TOP, MĚŘÍTKO 2:1)



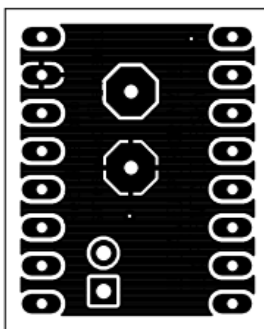
K DPS ZAPOJENÍ PRO VSTUPY A VÝSTUPY (BOTTOM, MĚŘÍTKO 2:1)



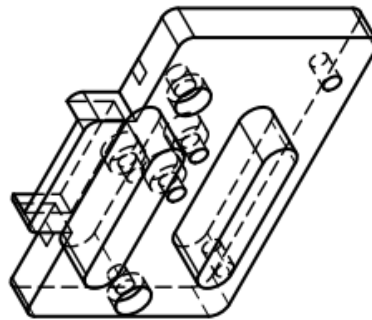
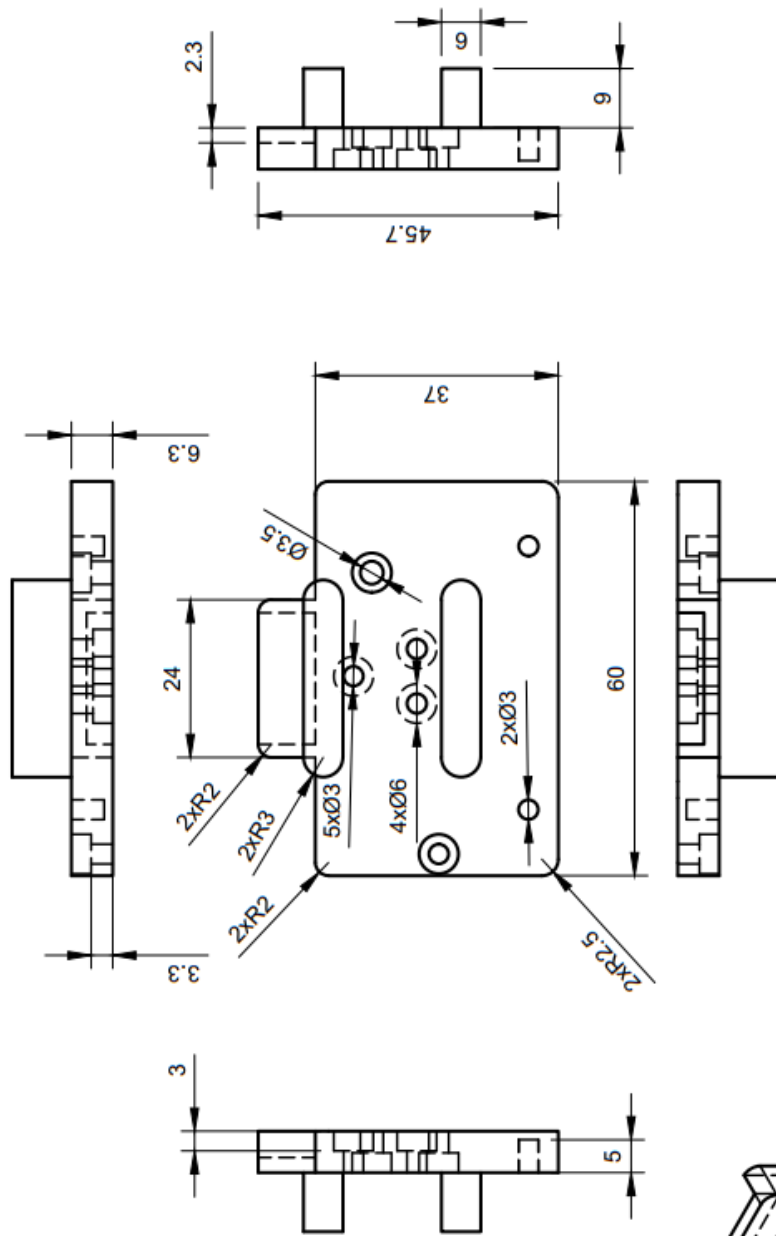
**L DPS ZAPOJENÍ PRO VÝSTUPY
Z 3D TISKÁRNY(TOP, MĚŘÍTKO 2:1)**



**M DPS ZAPOJENÍ PRO VÝSTUPY
Z 3D TISKÁRNY
(BOTTOM, MĚŘÍTKO 2:1)**

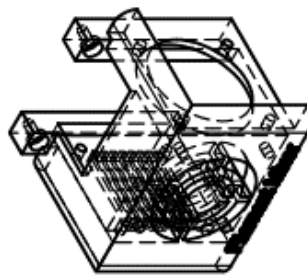
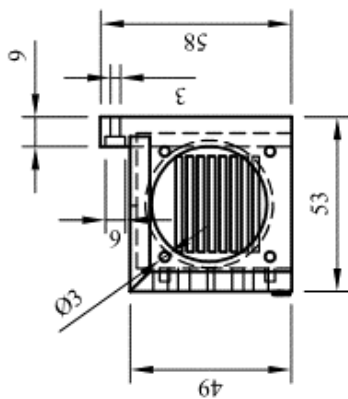
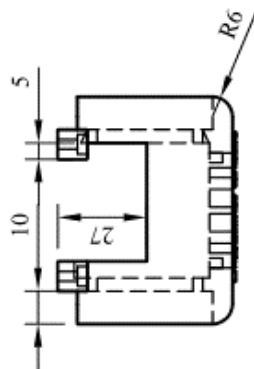
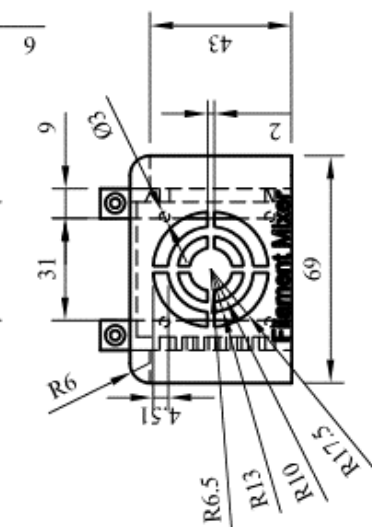
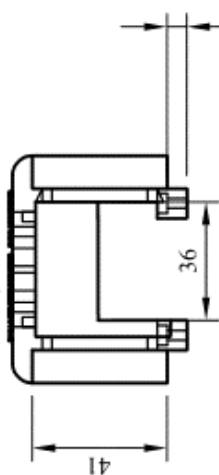
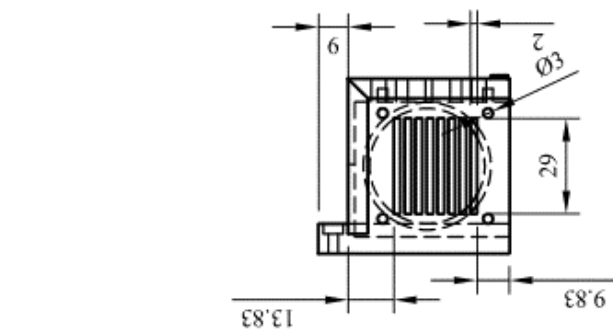


N TECHNICKÝ VÝKRES PRO PODLOŽKU 3D TISKOVÉ HLAVY



Dept. VUT BRNO	Technical reference	Created by Michal Hracek	Approved by
		Document type	Document status ver. 02
		Title Podložka pro tiskovou hlavu	DWG No.
		Rev. A	Date of issue 17.04.2020
			Sheet 1/1

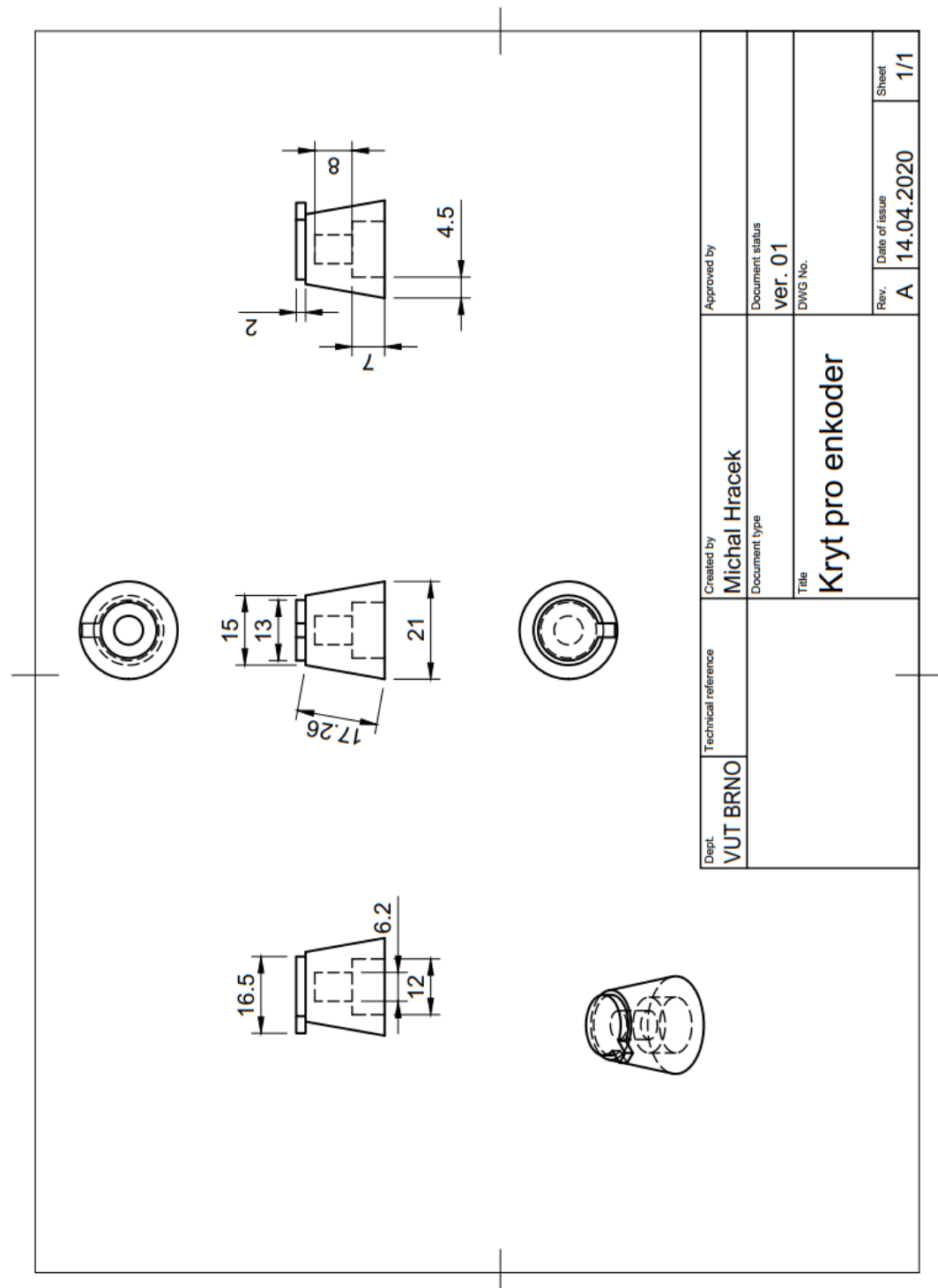
O TECHNICKÝ VÝKRES CHLAZENÍ 3D TISKOVÉ HLAVY



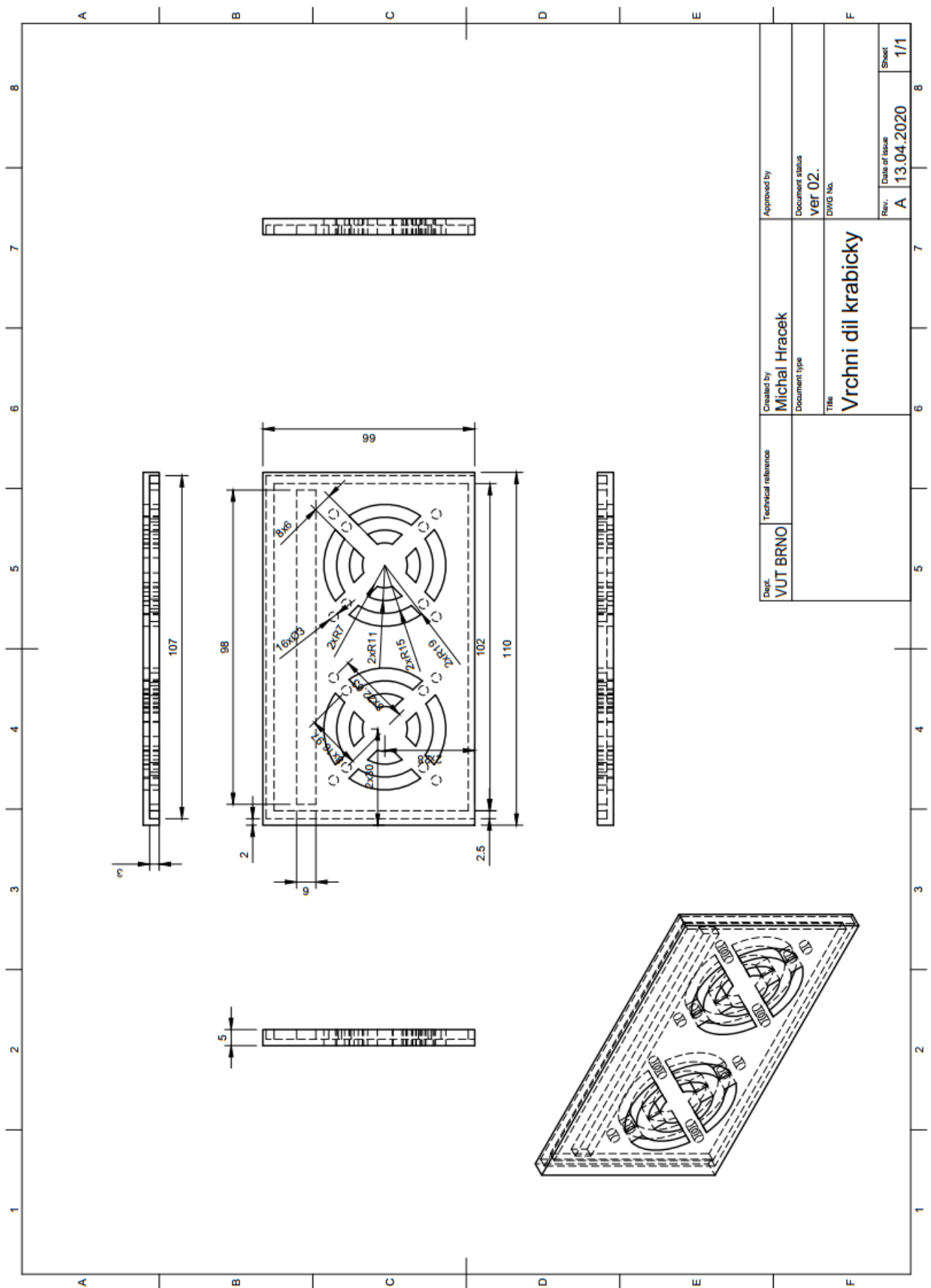
Dept. VUT BRNO	Technical reference	Created by Michal Hracek	Approved by
		Document type Technical drawing	Document status ver. 01
		Title Chlazení 3D tiskové hlavy	DWG No.
		Rev. A	Date of issue 22.03.2020
			Sheet 1/1

P TECHNICKÝ VÝKRES KRABÍČKY

Q TECHNICKÝ VÝKRES KRYTU NA ENKODÉR



R TECHNICKÝ VÝKRES HORNÍHO DÍLU PRO KRABÍČKU



S ROZPISKA SOUČÁSTEK PRO SMĚŠOVACÍ DPS 1/2

Název	Hodnota	Pouzdro
BMP280		Modul
BMPSWITCH	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
C1	100uF/35V	6,3x7,7mm
C2	100uF/35V	6,3x7,7mm
C3	100uF/35V	6,3x7,7mm
C4	10nF	1206
C5	100uF/25V	6,3x7,7mm
C6	10nF	1206
C7	220uF/16V	6,3x7,7mm
C8	220uF/25V	6,3x7,7mm
C9	100nF	0603
C10	100nF	0603
C11	10nF	0603
C12	10nF	0603
C13	10nF	0603
C14	100nF	1206
C15	100nF	1206
C16	100nF	1206
C17	100nF	1206
D1	1N4007	DO-214AC
D2	B340A-E3/61T	DO-214AC
D3	B340A-E3/61T	DO-214AC
D4	1N4007	DO-214AC
D5	ES3D	SMC
D6	LED – ZELENÁ	0603
D7	ES3D	SMC
F1	FSFF 5A	1206
F2	FSFF 5A	1206
IC1	TPS5410	SOIC-8
IC2	TPS5410	SOIC-8
MS1_1	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
MS2_1	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
MS3_1	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
MS1_2	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
MS2_2	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
MS3_2	Hřebínek 3pin	TH (2,54mm)
K1	+24V_IN	TH (5mm)
K2	+12V_IN	TH (5mm)

T ROZPISKA SOUČÁSTEK PRO SMĚŠOVACÍ DPS 2/2

Název	Hodnota	Pouzdro
L1	68uH	12x12x10mm
L2	33uH	12x12x10mm
Arduino	ARDUINO_NANO_V3	Modul
MOTOR_1	B4B-XH-A	TH (2,54mm)
MOTOR_2	B4B-XH-A	TH (2,54mm)
Q1	BSS138	SOT23-3
Q2	FDN360P	SOT23
Q3	ZXMP10A18K1	DPAK
R1	10K	0603
R2	1,13K	0603
R3	10K	0603
R4	3,24K	0603
R5	0R	0603
R6	100R	0603
R7	10K	0603
R8	47K	0603
R9	47K	0603
R10	47K	0603
R11	330R	0603
R12	47K	0603
R13	10K	0603
R14	1K	0603
R15	10K	0603
R16	1K	0603
R17	10K	0603
R18	1K	0603
R19	0R	0603
R20	0R	0603
R21	0R	0603
RV1	30V DC	1206
RV2	18V DC	1206
STEP/DIR	B2B-XH-A	TH (2,54mm)
STEPDRV1		Modul
STEPDRV2		Modul
SW	Hřebínek 2řad 3pin	TH (2,54mm)
VSTUPY	Dutinky 13pin	TH (2,54mm)
X1	B2B-PH-K-S	TH (2,00mm)
X2	B2B-PH-K-S	TH (2,00mm)

U ROZPISKA SOUČÁSTEK PRO DPS S UŽIVATELSKÝMI VSTUPY/VÝSTUPY

Název	Hodnota	Pouzdro
C1	100nF	0603
C2	100nF	0603
ENKODER	Dutinky 5pin	TH (2,54mm)
LED1	LED – zelená	1206
LED2_STEP	LED – červená	1206
LED3_DIR	LED – modrá	1206
OLED		Modul
R1	330R	0603
R2	330R	0603
R3	330R	0603
R4	10k	0603
R5	10k	0603
R6	10k	0603
R7	10k	0603
R8	10k	0603
SW1	Mikrospínač	TH (2,54mm)
SW2	Rotační Enkodér	Modul
VSTUPY	Hřebínek 13pin - 90°	TH (2,54mm)

V ROZPISKA SOUČÁSTEK PRO DPS VÝSTUPU Z 3D TISKÁRNY

Název	Hodnota	Pouzdro
R1	0R	0603
R2	0R	0603
REDUKCE	Vystup z 3D tiskárny	Modul
STEP/DIR	B2B-XH-A	TH (2,54mm)
K1	VCC	ARK500/2